

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем  
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий магістерський  
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка мікроелектромеханічного  
збірника висерійної мережі енергії

Виконав: студент II курсу, групи 8.15.99  
спеціальності 153 „Мікро-наносистеми механіки  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Мікроелектронні інформ. системи  
(назва освітньої програми)

Рамеєва С.О.  
(ініціали та прізвище)

Керівник Дієв М.І., доцент к.т.н. Світанко М.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д-р наук техн. Прілу Ігор Ігорич, Чеботарь О.І.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Мікроелектроніки та електронних інформаційних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 153 „Мікро- та наносистемна техніка“  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Пі. В. Куриш  
« 01 » грудня 20 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Гамсеву Сергію Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка мікро-електромеханічного дзвізка вторинної мережі енергії

керівник роботи Світланко Микола Вікторович, к.ф.м.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, звання, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 25 » травня 2020 року № 600-С

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 року


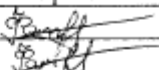


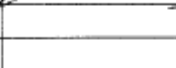
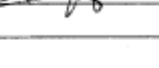

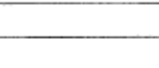
3 Вихідні дані до роботи Джерело живлення: постійна напруга 5В, змінна напруга 220В, частота від 22 Гц до 65 Гц. Сигнал Multisim, ІТурісе XVIII

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасних систем збору та невикористаної енергії навколишнього середовища? 2. Розробка конструкції

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Структура і розподіл температури та механічної напруги у перетворювачі вторинної енергії. 2. Результати досліджень перетворювача вторинної енергії. 3. Розміщення модулів вимірювання температури та механічного напруження


6 Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світличко М.В., доцент		
II	Світличко М.В., доцент		
III	Світличко М.В., доцент		
IV	Світличко М.В., доцент		

7 Дата видачі завдання 24.05.2020 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем збору інформації енергії з мережі середовища	15.09.2020	
2	Дослідження та розробка збору інформаційної енергії	24.10.2020	
3	Техніко-економіч. обґрунтування	02.11.2020	
4	Оцірка праці на мережі середовища	04.11.2020	
5	Написання пояснювальної записки	05.11.2020	
6	Конверсійний захист дипломної роботи	20.11.2020	

Студент  (підпис) Вансєв С.О. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)  (підпис) Світличко М.В. (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  (підпис) Вережкіна М. (ініціали та прізвище)

## Реферат

Дипломна робота містить 80 сторінок, 46 рисунків, 19 таблиць, 33 інформаційних джерела, 1 додаток на 1 стор.

Об'єкт дослідження – процеси перетворення сигналів у структурі збирача вторинної енергії.

Мета роботи – побудова структури і методики досліджень збирача вторинної теплової енергії.

Задачі роботи – розробка конструкції мікроелектромеханічного перетворювача, дослідження конструкції перетворювача, розробка схеми накопичувача енергії, дослідження схеми накопичувача, розробка печатної плати збирача вторинної енергії.

Методика досліджень – синтез конструкції перетворювача і схеми збирача вторинної енергії, моделювання за допомогою програмного забезпечення Comsol Multiphysics, LTspice XVII.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено конструкцію мікроелектромеханічного перетворювача вторинної енергії, що відрізняється від існуючих аналогів мембранною системою модуляції розподілу температури.

Результати впроваджень – пройшли апробацію на трьох науково технічних конференціях.

Прогнозні пропозиції – рекомендується створення макетного зразка.

**ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ, ПРОЕЛЕМЕНТ, ЗБИРАЧ,  
СУПЕРКОНДЕНСАТОР, МОДЕЛЮВАННЯ**

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних інформаційних систем, з 16.09.2019 р. по 30.11.2020 р

## ВСТУП

Швидкий розвиток технологічного, промислового обладнання і побутової техніки засновано на підвищенні виробітки енергії і коефіцієнту корисного її споживання. При цьому зріст населення та промисловості все більш потребує енергозабезпечення, але в умовах зниження запасів енергоресурсів та погіршення екологічної обстановки на передній план виходять альтернативні джерела енергії та вторинна або мусорна енергія [1].

Альтернативні джерела мають велику кількість переваг у порівнянні з традиційними джерелами[2]. Це і екологічність і більш дешеве виробництво енергії, але вони мають меншу кількість енергії в одиничних кількостях електростанцій. І традиційні, і альтернативні мають спільні недоліки. Одним з головних є електричні втрати під час виробництва та транспортування. Так, при виробництві і передачі втрачається від 75% до 95% енергії.

На основі таких великих втрат є актуально створення пристроїв вторинної енергії, призначення яких - збирати енергію, яка розсіюється у вигляді тепла, акустики або інших видах розсіювання[3].

Завдяки новітнім розробкам, дослідженням у мікроелектроніці, матеріалознавстві, приладобудуванні стало доступним розробка, дослідження та побудова пристроїв для збирання вторинної енергії у всіх сферах енергетики. Інтеграція різноманітних пристроїв у межах одного виробу має назву мікроелектромеханічні системи (MEMS) [4]. Така технологія дозволяє підвищити ефективність технічних конструкцій, зменшити їх собівартість і розширити функціональність.

Практична реалізація пристроїв збирання енергії, що розподілена у навколишньому середовищі, засноване на використанні різноманітних фізичних ефектів. При цьому в межах одного приладу можлива реалізація як одного явища, так і декількох, діючих одночасно або послідовно.

Для перетворення вторинної енергії перспективними є застосування сегнетоелектричних матеріалів. Так збирачі вторинної енергії на базі піроелектричного матеріалу мають ряд переваг. Такі пристрої дозволяють значною мірою зменшити частину невикористаної енергії, яка втрачається під час її використання у промисловості або в побуті. Сучасні піроелектричні перетворювачі досягли значення в ККД приблизно 14% -17%, а загальне ККД на рівні 5%[5].Малі розміри дозволяють створювати зазначені пристрої більш функціональним щодо сфер їх застосування.

Таким чином, розробка термоелектричного мікроелектронного перетворювача вторинної енергії є актуальною науково технічною задачею.

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗБИРАННЯ НЕВИКОРИСТАНОЇ ЕНЕРГІЇ З НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

## 1.1 Альтернативні джерела електричної енергії

В умовах зниження запасів енергоресурсів і погіршення екологічної обстановки в світі, політика промислово розвинених країн в області енергетики сильно змінилася. На зміну традиційним джерелам енергії приходять альтернативні поновлювані, до яких відноситься біоенергетика, вітроенергетика, гідроенергетика, геотермальна енергетика сонячна енергетика та енергія довкілля [1].

Альтернативні джерела енергії – невикопні джерела енергії, які постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі. У порівнянні з традиційними енергоносіями і джерелами енергії альтернативні джерела має ряд безсумнівних переваг. В першу чергу, альтернативно добута енергія є екологічно чистою, тому що при роботі електростанції(вітряки, сонячні батареї та ін.) не виділяють в навколишнє середовище шкідливих речовин.

Другою перевагою є висока ресурсомісткість відновлюємої енергії, обумовлена великою її кількістю. Наприклад, Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі складає близько 1366 ват на квадратний метр. У той же час, питома потужність сонячного випромінювання в Європі в дуже хмарну погоду навіть удень може бути менше 100 Вт/м<sup>2</sup>. За допомогою поширених промислово вироблених сонячних батарей можна перетворити цю енергію в електрику з ефективністю 9-24% [5].

По-третє, особливість реалізація систем альтернативної енергії дозволяє масштабувати їх і виготовляти такі системи масово, в тому числі для автономного використання.

Існує велика кількість різноманітних систем для збирання альтернативної енергії. Усі системи поділяють на різні класи в залежності від джерела енергії. До альтернативних джерел енергетики відносять [3]:

- геліоенергетика,
- вітроенергетика,
- гідроенергетика,
- геотермальна енергетика,
- механічна енергетика,
- гравітаційна енергетика та інші.

Такі системи потенційно надають можливість ліквідувати розбіжність між виробництвом і споживанням енергії. Це дозволить скоротити електроспоживання або задіяти багаторазовий процес використання виробленої енергії

## 1.2 Втрати енергії

На всіх стадіях виробництва і перетворення традиційних та не традиційних джерел енергії, транспортування і кінцевого використання їх енергетичного потенціалу допускається значні втрати енергії. Сумарні витрати енергії, за оцінками складають більш ніж 1/3 загального обсягу первинної енергії. Це означає, що на кожну одиницю енергії, підведену, до кінцевого споживача втрачається до 0,5 одиниці енергії. Істотний внесок тут вносять конденсаційні електростанції [5].



Ще більші втрати енергії допускаються при кінцевому її використанні в сфері матеріального виробництва і використання різних видів продукту та енергоємних послуг. Так на кожен одиницю енергії, підведеної до кінцевого споживача, втрачається приблизно до 0,75 - 0,95 одиниць енергії. У підсумку на всіх послідовних етапах видобутку, переробки, перетворення, транспортування і розподілу енергії первинних джерел і на всіх щаблях використання енергії в матеріальному виробництві, сфері послуг, разом узятих, втрачається в середньому близько 90% енергії від початкового рівня.

Останнім часом основною проблемою створення енергоефективних пристроїв (датчиків біосигналів, датчиків промислового призначення, і т.п.) є не надмірне енергоспоживання електронних компонентів (сучасні високопродуктивні мікроконтролери здатні працювати в активному режимі з струмом споживання не більше 1-2 мА), а необхідність використовувати акумуляторні батареї. Основними недоліками акумуляторних батарей є: • необхідність регулярно заряджати батарею; • наявність саморазряда; • обмеження кількості циклів заряд-розряд. Необхідність регулярного заряду батареї для випадку розподілених датчикову систем (наприклад, так звана «розумна» одяг) [6,7] призводить до різкого зниження ергономіки системи. Так якщо розглядати «розумний» костюм, у якому 20 датчиків біосигналів, кожен з яких має на борту індивідуальний хімічний джерело живлення і середній час заряду акумулятора (близько 1-2 годин), то користувач такогостюма буде змушений або купити 20 зарядних пристроїв, або витратити майже цілу добу, заряджаючи кожен датчик окремо. Обмеження кількості циклів заряд-розряд також сильно вплине на вартість експлуатації подібних систем, або датчики доведеться робити виключно дешевими (порівнянними за ціною з самим елементом харчування). Крім датчиків біосигналів проблема джерел живлення також важлива в промисловій сфері застосування. Наприклад, для розподілених систем з великою кількістю вузлів, що покривають великі площі. Це можуть бути інтелектуальні системи

моніторингу протяжних об'єктів, таких як залізна дорога [8]. У таких системах великий відсоток вартості апаратних засобів становлять кабельні з'єднання, тому установка бездротових датчиків є перспективним рішенням, що знижує загальну вартість системи і її обслуговування. Одним із шляхів вирішення проблеми накопичення енергії розподіленими датчикову системами може стати збір енергії з навколишнього середовища.

### 1.3 Аналіз джерел вторинної енергії

Джерела вторинної енергії діють відмінно від традиційний генераторів. Сьогодні вони складають незначну частку електрогенераторів. Такі пристрої потенційно надають можливість ліквідувати розбіжність між виробництвом і споживанням енергії. Це дозволить скоротити електроспоживання або задіяти багаторазовий процес використання виробленої енергії. Характеристики джерел вторинної електроенергії наведені у таблиці 1.1 [9]

Таблиця 1.1 – Різновиди зберігаючих джерел вторинної електроенергії

Джерело енергії	Метод перетворення	Потужність
Вібраційні мікрогенератори	П'єзоелектричний	800мВт/см <sup>2</sup>
Радіочастотний перетворювач	Електромагнітний	менш 1мВт/см <sup>2</sup>
Потоки навколишнього повітря	Мікротурбінний	1мВт/см <sup>2</sup>
Природне світло	Фотовольтаїчний	100мВт/см <sup>2</sup>
Низькотемпературний нагрів	Термоелектричний	60мВт/см <sup>2</sup>

Джерела збирання енергії використовують різноманітні фізичні ефекти з метою акумуляції незначних часток невикористовуємої енергії у корисний сигнал. Тому у цих елементах застосовуються різні принципи побудови:

- механічна енергія отримується від джерел тиску, вібрації і на тяжіння; п'єзоелектричні перетворювачі застосовуються для конверсії кінетичної енергії у електричну;

- теплова енергія викидів печей, нагрівачів, двигунів, тертя механічних частин; для таких джерел характерні термоелектричні, піроелектричні і термопарні перетворювачі;

- оптична енергія непрямого і прямого сонячного світла перетворюється за допомогою фотодатчиків, фотодіодів або фотоелементів;

- електромагнітна навколишнього середовища енергія перетворюється за допомогою кільцевих індукторів;

- енергія тіла людини є комбінацією, що генерується при природних рухах і може бути перетворена за допомогою п'єзоелектричного і піроелектричного ефектів;

- акустичний сигнал, що виникає при потужних шумах і навколишніх звуках може бути переведено у електрику за допомогою акустоелектричних перетворювачів.

Деякі форми зберігання, які виробляють електроенергію, включають гідроелектростанції з перекачуванням, акумуляторні батареї, накопичення тепла, включаючи розплавлені солі, які можуть ефективно зберігати, випускати дуже велику кількість теплової енергії, і накопичувачі енергії стисненого повітря, маховики, кріогенні системи та надпровідні магнітні котушки.

Надлишкову потужність також можна перетворити на метан з запасом у мережі природного газу.

## 1.4 Апаратні засоби побудови накопичувачів вторинної енергії

Основними проблемами при використанні вільної енергії є її малі величини і неможливість передбачення стабільності її надходження. Тому для використання її джерела в парі з накопичувачем енергії (суперконденсатором або акумулятором) застосовується електронний вузол перетворення.

Під перетворювачем розуміється схема мостового випрямляча з низькими втратами, за яким включений синхронний імпульсний DC / DC перетворювач. Обидва елементи оптимізовані для роботи з джерелами мають характерні значення струму порядку 10 мкА (наприклад, п'єзоелектричний елемент) [10]. Перший серійний зразок такого електронного вузла випустила фірма Linear Technologies в 2010 році. Даний конвертер був оптимізований для роботи з джерелами енергії з високим вихідним опором, таких як п'єзоелектричні генератори, сонячні батареї або магнітострикційні генератори. У 2012-му році естафету підхопила фірма MAXIM, випустивши кілька мікросхем, таких як MAX17710 [11], це вже були повноцінні зарядні пристрої для Мікропотужні акумуляторних батарей. Крім того, дані мікросхеми володіли системою захисту від перезаряду акумуляторної батареї. Фірма Texas Instruments широко відома своїми 16-ти розрядними мікроконтролерами з ультранизьким споживанням MSP430 [12], представила в 2013 році цілий напрям рішень для збору енергії ультранизької потужності [13]. Основними відмінностями пропонованих мікросхем були:

- можливість підтримки первинного харчування (від стандартного акумулятора великої ємності) і вторинного харчування (від акумулятора з мікро ємністю і підзарядкою від збирача енергії) була вбудована в мікросхему, виключаючи необхідність додаткових зовнішніх компонентів;
- можливість програмування точки «норми» накопичення енергії (умовно - мінімальна кількість заряду, при якому може працювати система);

- можливість програмування максимального струму віддачі (до 50 мА); Для розробки збирача енергії як складової частини датчика існує ряд параметрів

критично впливають на результат розробки: • габаритні розміри мікросхем перетворювачів; • кількість зовнішніх компонентів, необхідних для роботи перетворювача; • наявність захисту акумулятора від перезарядження; • наявність автоматичного включення мікроконтролера при досягненні необхідного рівня заряду; • вартість мікросхеми перетворювача; максимальний струм, що видається перетворювачем;

Таблиця 1.2 Порівняння габаритних розмірів і числа компонентів для реалізації збирачів енергії

Найменування мікросхем	Розміри корпусу, мм	Кількість зовнішніх компонентів
TPS61200	3.1x3.1x1	6
BQ25505	3.65x3.65x1	8
LTC3108-1	3x4x0.75	6
LTC3109	4x4x0.75	8
MAX17710	3x3x0.5	6
LTC3588-1	3x3x0.75	5

Таблиця 1.3 Порівняння енергетичних параметрів різних інтегральних рішень.

Найменування мікросхеми	Максимальний струм перетворювача	Струм витоку
TPS61200	300	300
BQ25505	200	325
LTC3108-1	300	200
LTC3109	15	200
MAX17710	100	450

LTC3588-	100	450
----------	-----	-----

Слід зазначити, що пряме порівняння цих мікросхем провести дуже складно, так як кожен пристрій виконує ряд додаткових функцій. Так, наприклад, MAX17710 є зарядним пристроєм орієнтованим на акумулятори свехмалой ємності, а BQ25505 - зарядний пристрій, призначений для класичних акумуляторів різного виду, але дозволяє заряджати їх від високоімпедансних джерел струму. Можна простежити тренд, що намітився за останні 4 роки, в області розробки енергозберігаючих пристроїв. Це, в першу чергу, зниження енергоспоживання пристроїв за рахунок створення енергоефективних мікроконтролерів (причому, Надмалий енергоспоживання - не завжди є запорукою енергоефективності, як у випадку порівняння сімейства MSP430 і мікроконтролерів EnergyMicro [14]). Потім, почався процес створення інтегральних схем на основі усталених схем аналогових пристроїв (наприклад analog front-end для знімання сигналу ЕКГ [15]).

Скорочення кількості елементів в схемі призвело до зменшення струмів витоку - енергоспоживання інтегральної схеми знизити значно простіше, ніж схеми з 15-20 окремими елементами. І нарешті, остання тенденція - спроба піти від необхідності застосовувати класичні хімічні джерела струму (або хоча б зробити їх тільки резервним варіантом живлення пристрою), використовуючи суперконденсатори або гібриди конденсаторів і акумуляторів, які отримують заряд з вільної енергії навколишнього середовища. На рисунку 1.1 можна помітити, що намітився тренд по зростанню кількості інтегральних рішень, що випускаються різними виробниками.

Суперконденсатори або іоністори є [конденсаторами](#) з обмеженими або необмеженими [електролітом](#), «обкладками» в якому служить [подвійний електричний шар](#) на межі розділу [електрода](#) і [електроліту](#).

У зв'язку з тим, що товщина [подвійного електричного шару](#) (тобто відстань між «обкладками» конденсатора) дуже мала, накопичена іоністором енергія вища в порівнянні зі звичайними конденсаторами того ж розміру. До того ж, використання подвійного електричного шару замість звичайного діелектрика дозволяє набагато збільшити площу поверхні електрода (наприклад, шляхом використання пористих матеріалів, таких, як [активоване вугілля](#) або спінені метали). Питома ємність іоністора сягає десятка [фарад/куб. см](#), при номінальній напрузі 2В -4 В.

З появою іоністорів стало можливим використовувати конденсатори в електричних колах не тільки як перетворюючий елемент, але і як джерело струму.

Такі елементи мають декілька переваг над звичайними хімічними джерелами струму — гальванічними елементами та акумуляторами [16]:

- високі швидкості заряду й розряду;
- простота зарядного пристрою;
- мала деградація навіть після сотень тисяч циклів заряду / розряду;
- мала вага в порівнянні з електролітичними конденсаторами подібної ємності;
- низька токсичність матеріалів;
- висока ефективність (ККД більше 95%);
- неполярні (хоча на іоністорах і зазначені «+» і «-», це робиться для позначення полярності залишкової напруги після його заряду на заводі-виробнику) ;

Недоліками суперконденсаторів є [16]:

- питома енергія менша, ніж у традиційних джерел (1-3 Вт·год/кг при 30 - 40 Вт·год/кг для батарейок) ;
- напруга залежить від ступеня зарядженості;
- можливість вигорання внутрішніх контактів при короткому замиканні;
- малий термін служби (сотні годин) на граничних напругах заряду;

- великий внутрішній опір в порівнянні з традиційними конденсаторами (50-100 Ом у іоністора 1Ф x 5,5 В) ;

- значно більший, у порівнянні з акумуляторами саморозряд: близько 1 мкА у іоністора 2Ф x 2.5В[17] ;

Використання мініатюрних суперконденсаторів (конденсаторів великої ємності) як заміна акумуляторних батарей може значно підвищити термін служби майбутніх мобільних телефонів, портативних комп'ютерів і іншої електронної техніки. Розробка нових технологій виробництва мініатюрних суперконденсаторів, використовуючи методику мікрообробки матеріалів, подібну якою використовують для виробництва мікрочипів напівпровідникових електронних приладів.

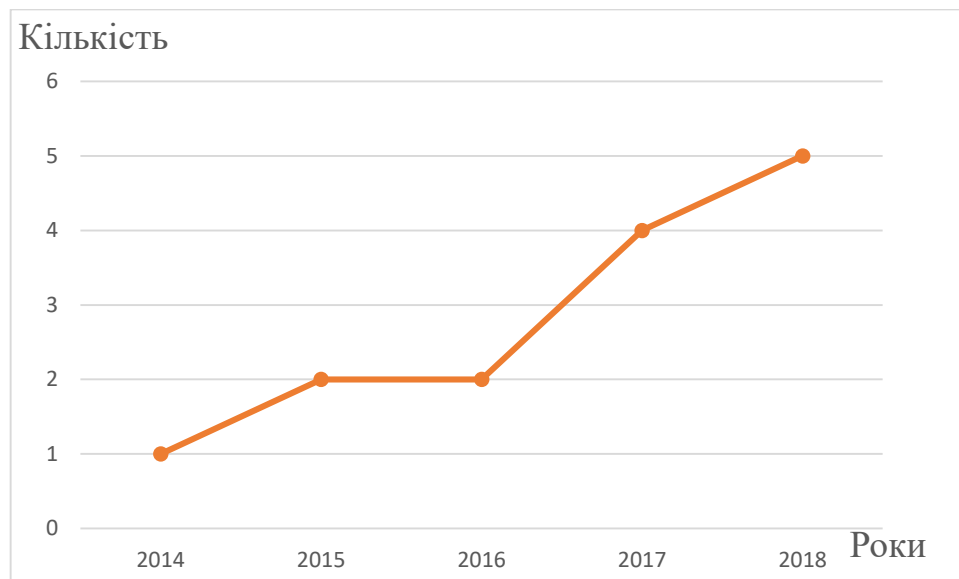


Рисунок 1.1 - Кількість випущених нових інтегральних рішень для збирачів енергії по роках

Результатом цього тренду в найближче десятиліття стане розвиток бездротових датчиківу систем різного призначення, загальною властивістю яких стане дешевизна, відсутність необхідності кабельних зв'язків (в тому числі і для подачі живлення) і довговічна робота при мінімальному обслуговуванні.



Таким чином, метою бакалаврської роботи є побудова структури і методики досліджень збирача вторинної теплової енергії. Для реалізації цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробка конструкції мікроелектромеханічного перетворювача;
- дослідження конструкції перетворювача;
- розробка схеми накопичувача енергії;
- дослідження схеми накопичувача;
- розробка печатної плати збирача вторинної енергії

## 2 РОЗРОБКА ЗБИРАЧА НЕВИКОРИСТАНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

### 2.1 Розробка конструкції термоелектричного перетворювача

Розробка приладів здатних перетворювати різні види енергії є однією з провідних тем сьогодні. Термоелектричні перетворювачі є одними таких приладів. Вони зможуть суттєво охолоджувати активно діючі джерела втраченого тепла, або фотоелектричні термоперетворювачі. У [18] показано, що з цією метою можливо використання піроелектричних елементів.

Піроелектрики – це кристалічні діелектрики, які мають спонтанну поляризацію тобто розбіжність центрів тяжіння позитивних і негативних носіїв зарядів обумовленої достатньо низькою симетрією кристалів [19].

Піроелектричної генератори енергії спираються на те, що спонтанна поляризація (а отже, і діелектрична проникність) певних матеріалів залежить від температури. Не нульова спонтанна поляризація  $P_S$  піроелектричних матеріалів

при кімнатній температурі призводить до того, що матеріал залучає заряджені частинки. Якщо матеріал поміщають між двома електродами і підключають до зовнішнього контуру, то пластини конденсатора заряджатимуться доти, доки поверхневий заряд на піроелектричному матеріалі не буде нейтралізовано. Коли температура в конденсаторі підвищується, диполі в матеріалі почнуть випадково орієнтуватись, зменшуючи коефіцієнт поляризації  $P_s$ , а отже, і діелектричну проникність конденсатора. При цьому, у зовнішньому контурі протікає струм, доки температура в конденсаторі буде змінюється. Струм змінює свій напрямок, як тільки температура зменшиться, коли диполі в матеріалі змінюють орієнтацію. Швидка зміна температури конденсатора індукує змінний струм у зовнішньому контурі, при цьому величина електричного струму і ефективність перетворення енергії залежать від швидкості зміни температури.

ККД термоелектричного перетворення енергії для піроелементу відповідно до термодинаміки обмежується ККД Карно [20]:

$$\eta_{\text{Карно}} = 1 - \frac{T_i}{T_n}, \quad (2.1)$$

де  $T_n$  – температура горячої частини,  $T_i$  – температура холодної частини.

Відповідно до цього температурний градієнт у  $1^\circ\text{C}$  в умовах кімнатної температури призводить до збільшення ККД Карно на 0,33%. Якщо градієнт температур становить  $100^\circ\text{C}$  ККД Карно збільшується до 25% [21]. Збільшення температурної не завжди призводить до зростання потужності, що генерується. Це також залежить від коефіцієнту перетворення за потужністю. Термоелектричне перетворення стає економічно виправданим у тому випадку, коли градієнт температур стає більш ніж декілька десятків градусів.

На практиці існують додаткові фактори, що обмежують ефективність піроелектричного перетворення [20]:

$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{in}} = \frac{W_e - W_p}{C_v \Delta T + Q_{Int} + Q_{Leak}}, \quad (2.2)$$

де  $W_{out}$  – електрична потужність сигналу на виході першого елементу,  $Q_{in}$  – теплова потужність,  $W_E$  – електрична потужність, що генерується,  $W_P$  – потужність втрат при циклічній зміні температури,  $C_v$  – теплоємність піроелементу,  $Q_{Int}$  – власні втрати тепла при термоциклюванні,  $Q_{Leak}$  – витоки тепла між джерелом нагріву і охолоджуваною частиною.

Існуючі методи термоелектричного перетворення характеризується не великою ефективністю, що обумовлено значення ККД Карно. Але сучасні піроелектричні перетворювачі досягли значення в ККД приблизно 14-17%, а загальне ККД на рівні 5%[8].

Типова структура піроелектричного перетворювача наведена на рисунку 2.1[22]. Такий пристрій для збирання теплової енергії та генерування електричного струму включає в себе консольний шістковий піроелектричний конденсатор, що проходить між першою поверхнею, де перша поверхня містить різницю температури від другої поверхні.

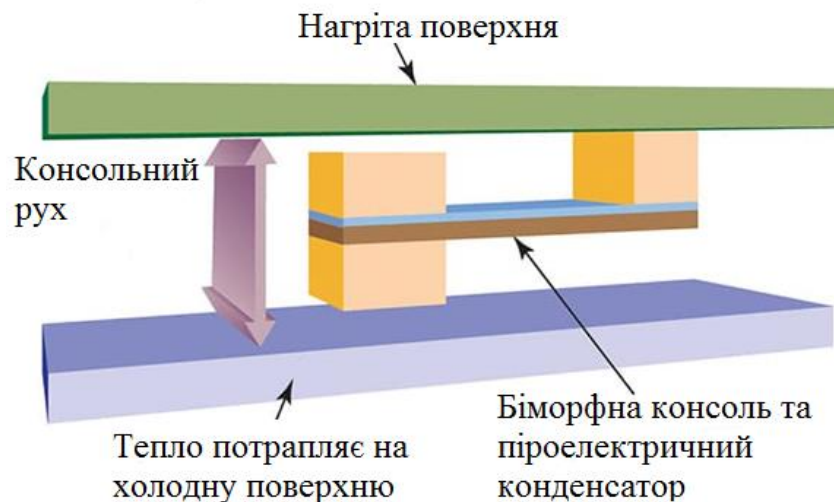


Рисунок 2.1–Структура консольного збирача вторинної енергії

Шарований піроелектричний конденсатор включає в себе провідний біметалавий шар верхнього електрода, проміжний піроелектричний діелектричний шар і провідний шар електродів; Крім того, пара додаткових мас

закріплюється на вільному кінці консолі. В результаті, здійснюється періодичні коливання консолі і тепловий контакт між охолоджуємою та нагрітою частиною перетворювача також періодично переривається. При цьому, верхня поверхня піроелектричного конденсатору знаходиться у стані зміни температури. Піроелектричний струм що протікає між обкладинками конденсатора[22]:

$$I_p = A_f \frac{dP_s}{dt} = A_f p \frac{dT}{dt}, \quad (2.3)$$

де  $A_f$  – площа поверхні піроелектричного тонкоплівкового конденсатора,  $P_s$  – коефіцієнт поляризації,  $T$  – температура піроелектричного конденсатора,  $p$  – піроелектричний коефіцієнт.

Консоль спочатку нагрівається через тепловий контакт з поглиначем випромінення або тепла, що призводить до появи механічної напруженості у біметалевій структурі. Таким чином, відбувається вигинання консолі від поглинача тепла(з розривом теплового контакту) до встановлення контакту з холодною поверхнею. В подальшому при розсіюванні теплової енергії через холодний контакт відбувається зворотній процес і консоль повертається до початкового просторового розташування. На якість перетворення енергії має великий вплив параметру теплових контактів консолі. Загальна часова діаграма, що характеризує роботу консольного перетворювача наведена на рисунку 2.2.

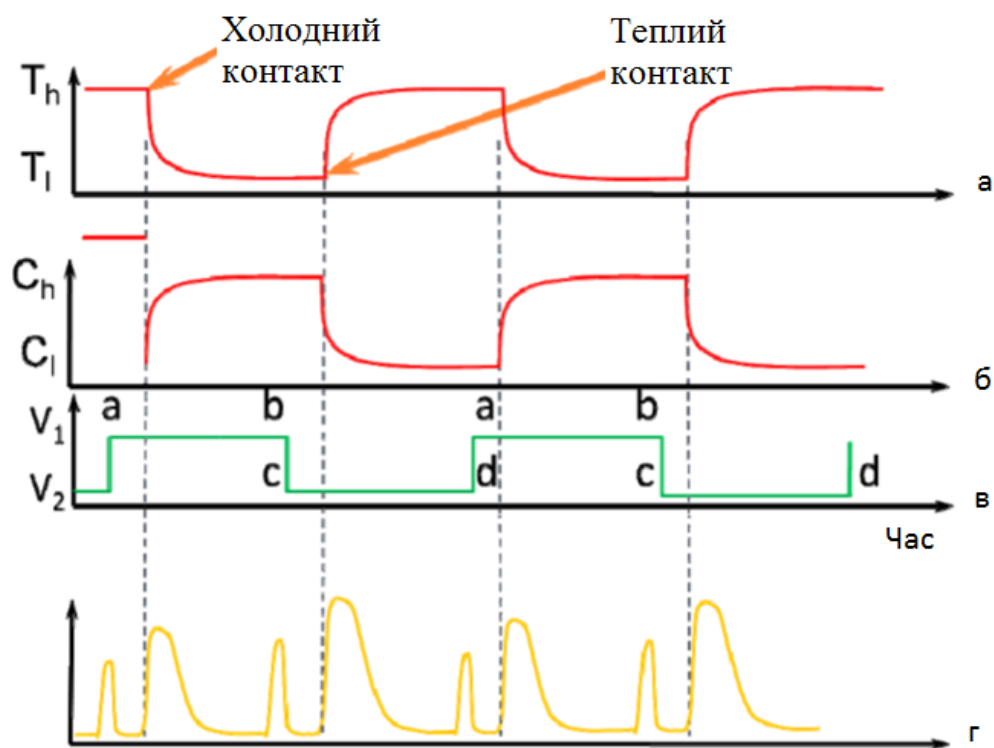


Рисунок 2.2–Епюри зміни температури (а), ємності, напруги і струму термоелектричного перетворювача

Рисунок 2.2 а характеризує зміну температури піроелектричного конденсатора у процесі змінного контакту з нагрівачем і охолоджувачем. Аналіз рисунку 2.2 показує, що час теплової релаксації залежить від теплового контактного опору у контактах до нагрівача і охолоджувача, а також від теплоємності матеріалів перетворювача. В результаті цього відбувається зміна ємності піроелементу і величини напруги, як показано на рисунку 2.2(б), в при реалізації еріксонівського циклу [22] перетворення теплової енергії. Таким чином, як показано на рисунку 2.2. (г) зміна напруги на піроелементі викликає появу імпульсів піроелектричного струму у зовнішньому контурі.

Консольна модель чутлива до механічних навантажень, що знижує її ефективність. Тому було розроблено мембранну конструкцію перетворювача, що зображено на рисунку 2.3.

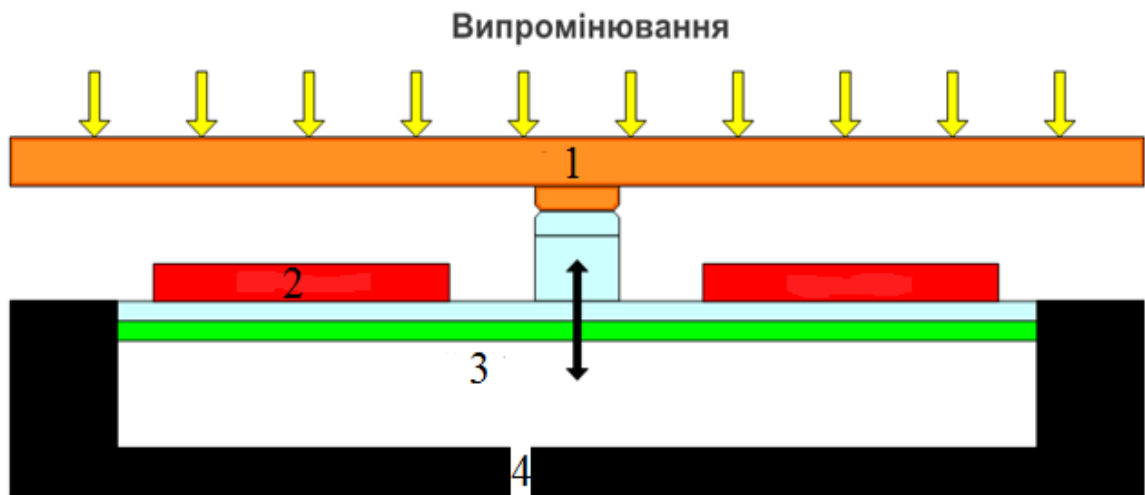


Рисунок 2.3 – Конструкція мембранного термоелектричного перетворювача

На відміну від консольної конструкції тепловий контакт біметалевої мембрани(3) з поглиначем випромінювання(1) розташовано по центру пластини. В результаті закріплення обох кінців мембрани на тепловідводі, коефіцієнт передачі тепла у порівнянні з рисунку 2.2 збільшується, що дозволяє відмовитися від періодичного холодного контакту. До того ж додаткове крайове закріплення мембрани дозволяє підвищити механічну стабільність перетворювача, що до впливу паразитного п'єзоелектричного ефекту на функціонування піроелементів[23].

Центросиметрична структура мембрани перетворювача обумовлена тим, що піроелементи знаходяться у однаковому тепловому режимі. Тому, їх можливо з'єднувати паралельно і збільшувати таким чином струм термогенерації.

## 2.2 Дослідження мембранного термоелектричного перетворювача

### 2.2.1 Розробка двовимірної моделі

Сучасне досягнення у комп'ютерних технологіях зробили доступними для широкого кола спеціалістів двовимірне моделювання різноманітних технічних пристроїв. При цьому можливо відмовитись від багато чисельних макетних зразків, що були необхідні раніше для оптимізації конструкцій, що розробляються. До таких засобів відноситься програмний комплекс ComsolMultiphysics [24], який призначено для моделювання фізичних процесів у наукових і технічних застосуваннях. Для цього використовується чисельні методи математичного аналізу, що засновується на диференціальних рівняннях у часткових похідних і методі кінцевих елементів. При цьому коефіцієнти систем рівнянь визначаються у вигляді фізичних параметрів, об'єктів, що досліджуються. Перетворення параметрів у значення коефіцієнтів виконуються у ComsolMultiphysics автоматично, а взаємодія з користувачами здійснюється за допомогою графічного інтерфейсу на мові скриптів або на мові MATLAB.

Тому завданням моделювання є дослідження двовимірної моделі термічних і механічних процесів в біморфній мембрані перетворювача та ідентифікація вхідних параметрів електричної моделі.

Для цього було розроблено у системі ComsolMultiphysics модель мембрани, що містить верхній шар з оксиду кремнію і нижній шар з алюмінію (рис. 2.4). Розміри мембрани становлять 1000x80 мкм, а товщина кожного з шарів – 40 мкм. У центрі мембрани розташовано тепловий контакт розмірами 100x10 мкм з поглиначем зовнішнього тепла. В якості матеріалу контакту також обрано алюміній.

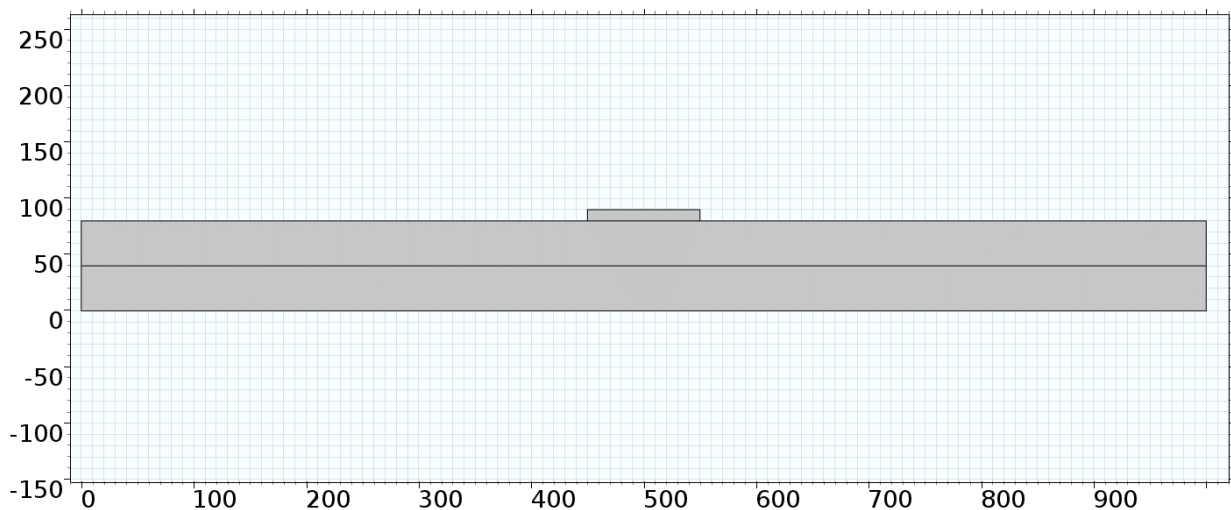


Рисунок 2.4 – Геометрична модель біморфної мембрани перетворювача

Для ідентифікації фізичних процесів геометричної моделі мембрани використано розділи «Механіка» і «Тепломасообмін». У розділі «Механіка» структура мембрани задається як лінійно-еластична з отриманням значень внутрішніх напружень і зміни просторового стану з результатів обчислень розподілу температурних полів. Також всі поверхні моделі вважаються такими, що вільно змінюють своє положення у просторі за виключенням місць закріплення мембрани (бокових поверхонь). У розділі «Тепломасообмін» за значеннями теплопровідності, теплоємності і щільності матеріалів моделі розраховується розподіл температури у структурі. Початковими умовами для цього є значення температури 273К для всієї моделі за виключенням верхньої поверхні теплового контакту. Там величина температури залежить від температури поглинача і становить 310К.

Щоб вирішити диференційні рівняння у системі Comsol необхідно поділити геометричну конфігурацію моделі на комірки за допомогою просторової сітки. Для цього було використано трикутникові елементи розміри яких автоматично зменшуються при ускладненні геометрії приладу. Таким чином повна сіткова модель приладу, що досліджується наведено на рисунку 2.5.



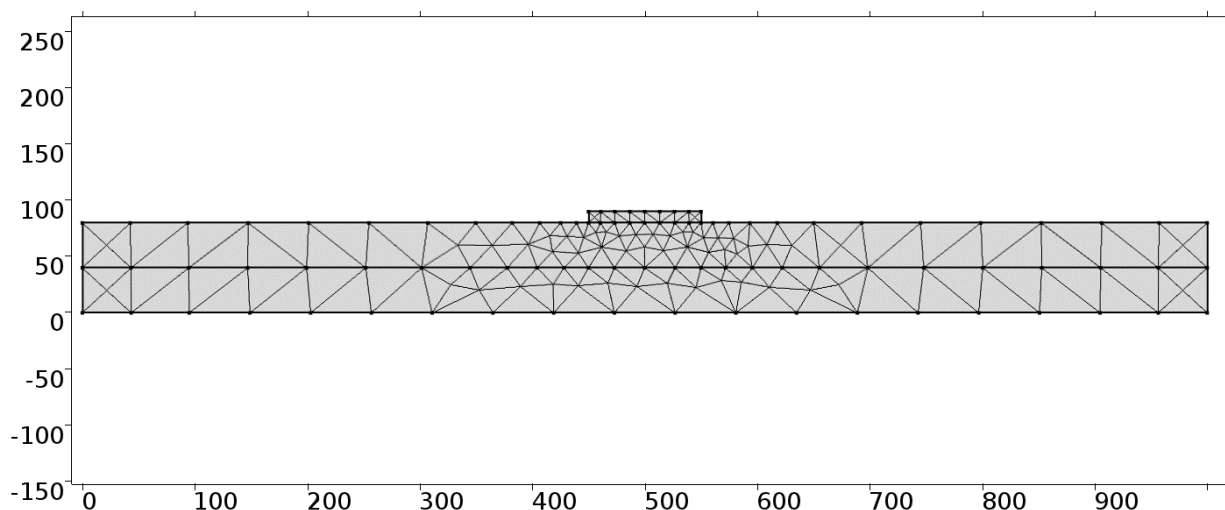


Рисунок 2.5 – Двовимірна сіткова модель біморфної мембрани

Для розрахунків згідно створеної моделі було використано метод MUMPS з відносною похибкою 0.01.

### 2.2.2 Дослідження моделі біморфної мембрани

Дослідження розробленої моделі біморфної мембрани термоелектричного перетворювача виконувались у обчислювальному середовищі на базі MACBOOK 10 PRO з процесором Intel I7 4980HQ, що працює на частоті 2.8 ГГц, ОЗП 16 ГБ під керуванням ОС Windows 10.

Результати досліджень наведені на рисунку 2.6 – 2.7 у вигляді розподілів температури і механічних напружень в мембрані для температури поглинача – 310 К [25].

Результати, наведені на рисунку 2.6 – 2.7 показують, що під дією нагріву мембрана вигинається від теплового контакту. В подальшому, завдяки теплопровідності і тепловідводу від структури мембрана повертається у початковий стан і тепловий контакт з нагрівачем відновлюється. Більш докладне кількісне уявлення з динаміки зміни температури і положення мембрани надає

часова залежність параметрів крапки, що розташовується на центральній вісі конструкції на поверхні шару алюмінію (рис. 2.8).

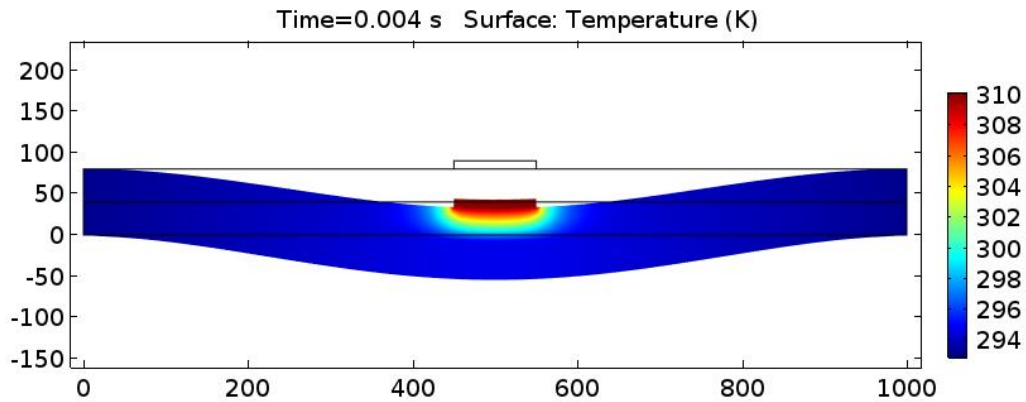


Рисунок 2.6 – Розподіл температури у біморфній мембрані

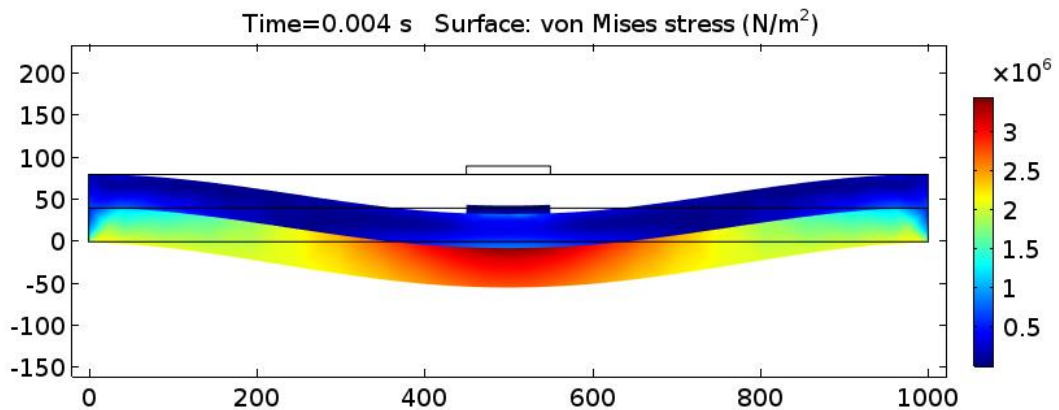
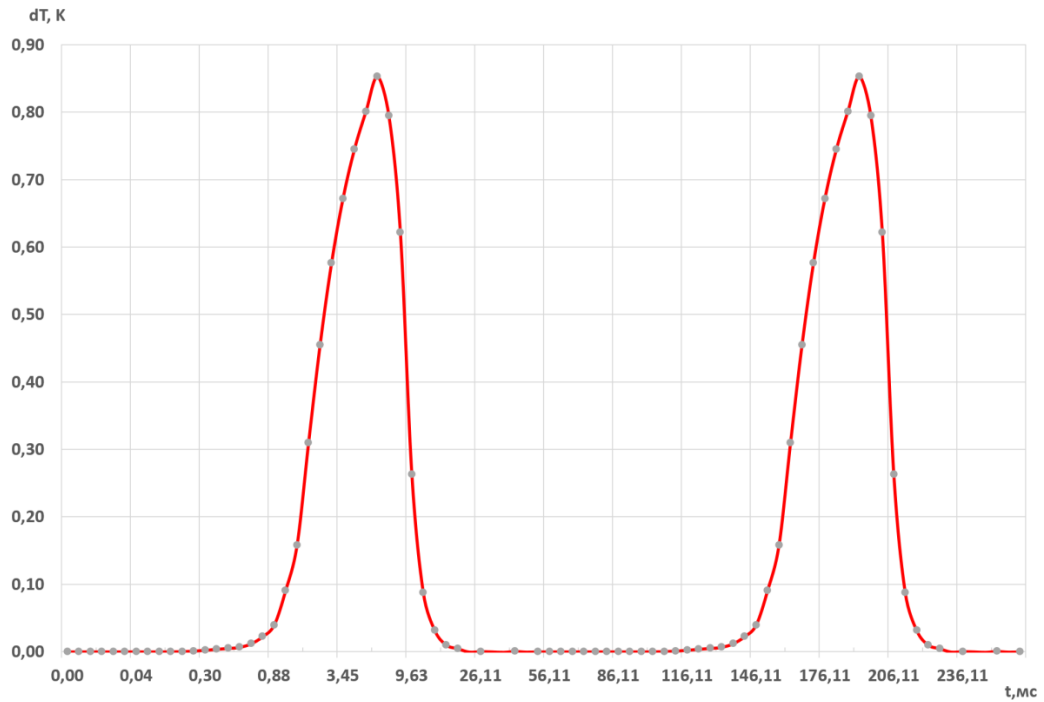
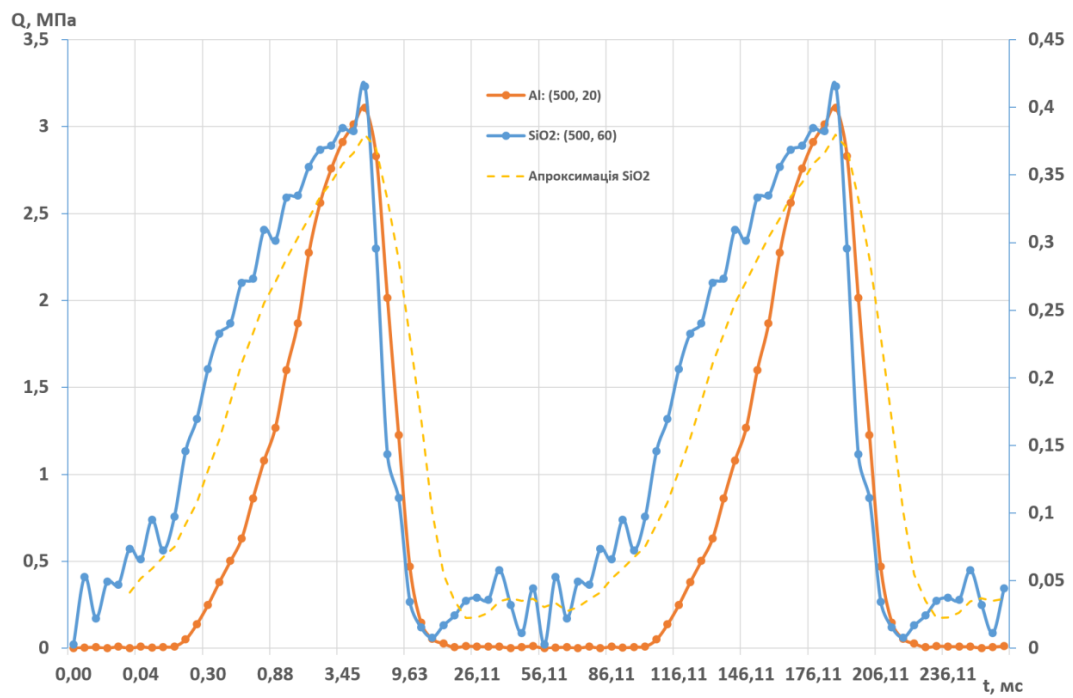


Рисунок 2.7 – Розподіл механічних напружень у біморфній мембрані

Як слід з рисунку 2.8 (а) максимум градієнту температур між обкладинками піроелектричного елемента сягає 0,8 К при нагріванні поглинача до 310 К. В результаті різниці коефіцієнтів термічного розширення оксиду кремнію і алюмінію у відповідних біморфних мембранах діють різні величини механічних напруг (рис. 2.8 (б)), що призводить до її деформації і наступному охолодженню. Таким чином зміна градієнту температури повторюється з періодом 176 мс.



а)



б)

Рисунок 2.8 – Часові залежності різниці температури на поверхні піроелементу (а) і механічних напруг біморфної мембрани (б)

Для дослідження залежності градієнту температури піроелементів і тривалості вихідних імпульсів перетворювача було проведено моделювання біморфної мембрани у діапазоні температур нагрівача від кімнатної температури до 350 К. Отримані результати наведені на рисунку 2.9. Аналіз рисунку 2.9 показує, що при зростанні температури поглинача градієнт температур піроелементу змінюється майже лінійно. Для кількісної оцінки не лінійності перетворення і встановлення аналітичної залежності градієнту температур було виконано апроксимацію результатів моделювання за допомогою ліній тренду. Наведені результати показують, що градієнт температур  $dT$  можливо визначити наступним чином:

$$dT = 0,2629T + 0,0772, \quad (2.4)$$

де  $T$  – температура нагрівача, К.

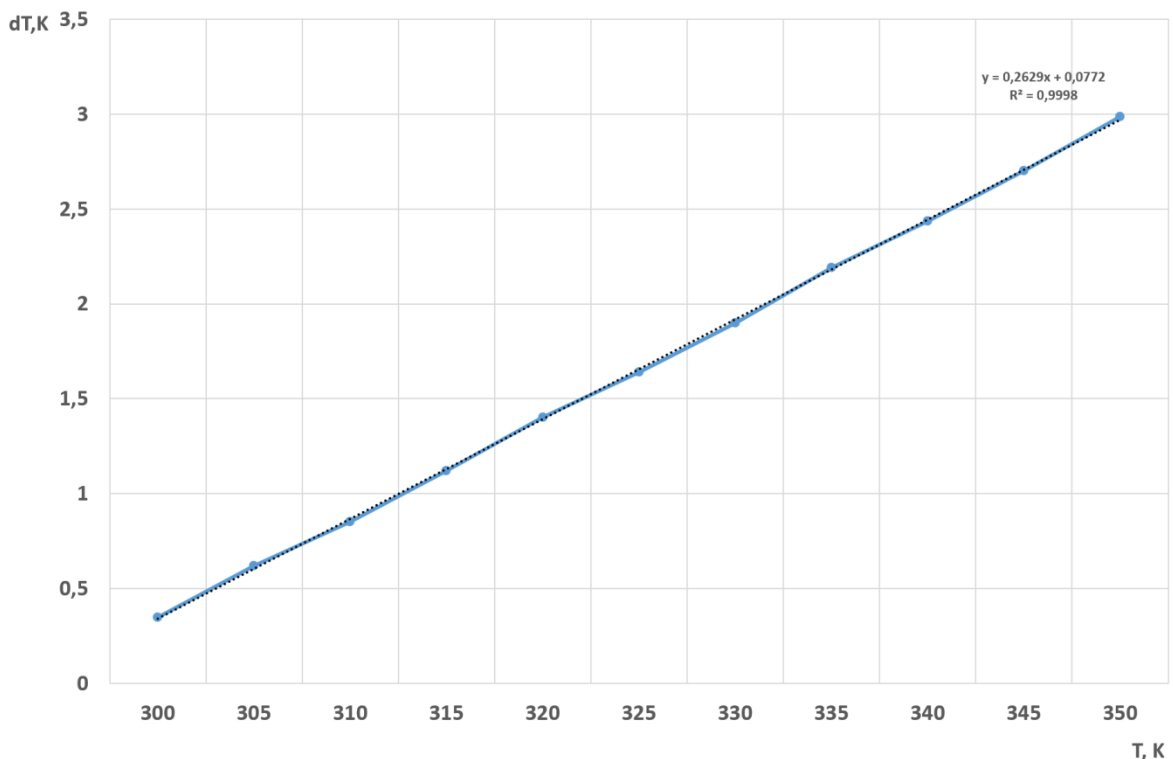


Рисунок 2.9 – Залежність градієнту температури на обкладинках піроелементу від температури поглинача

Отримана залежність дозволяє визначити амплітуду вихідних імпульсів перетворювача з похибкою не більш ніж 0,001, що оцінювалось за допомогою коефіцієнту множинної кореляції  $R^2$ (рис.2.9).

Для визначення параметрів електричних коливань, що виникають на обкладинках піроелементів можливо використати (2.3). Початковими даними для відповідних розрахунків є властивості піроелектричного матеріалу PVDF(полівінілденфторид) [26], площа піроелементу (0,01 мм<sup>2</sup>). Отримані результати наведені на рисунку 2.10 у вигляді епюрів піроелектричного струму.

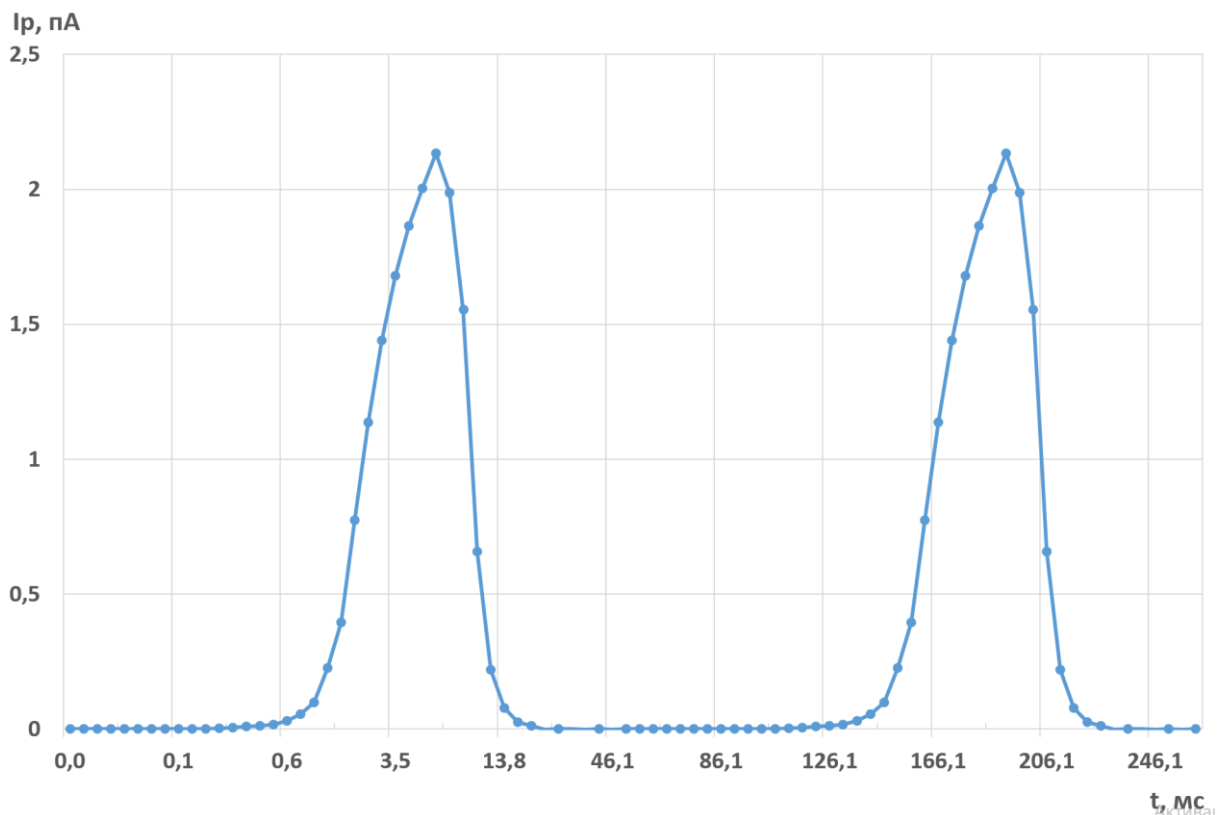


Рисунок 2.10 – Епюр струму піроелементу

Аналіз рисунку 2.10 показує, що максимальна амплітуда струму становить 2,2 пА, що є недостатньою для ефективної роботи збирача. Таким чином, необхідно здійснити оптимізацію перетворювача, що до величини генеруємих імпульсів струму.

### 2.2.3 Оптимізація перетворювача

Оптимізація перетворювача спрямована на покращення ефективності перетворення теплової дії випромінення. Це завдання можливо вирішити, відповідно до (2.3), або збільшенням розмірів піроелементів перетворювача або на основі застосування інших піроелектричних матеріалів з більшим значенням піроелектричного коефіцієнту  $P_s$ .

Аналіз [27] показує, що з піроелектричних матеріалів які знайшли практичне застосування в електроніці найбільші піроелектричні коефіцієнти мають тригліцинсульфат (ТГС) –  $330 \cdot 10^{-12} \text{Кл}/(\text{мм}^2 \cdot \text{К})$ ; і цирконат титанат свинцю модифікований лантаном (ЦТСЛ) –  $400 \cdot 10^{-12} \text{Кл}/(\text{мм}^2 \cdot \text{К})$ . Використовує ці значення було отримано епюри піроелектричних струмів перетворювача, що наведено на рисунку 2.11.

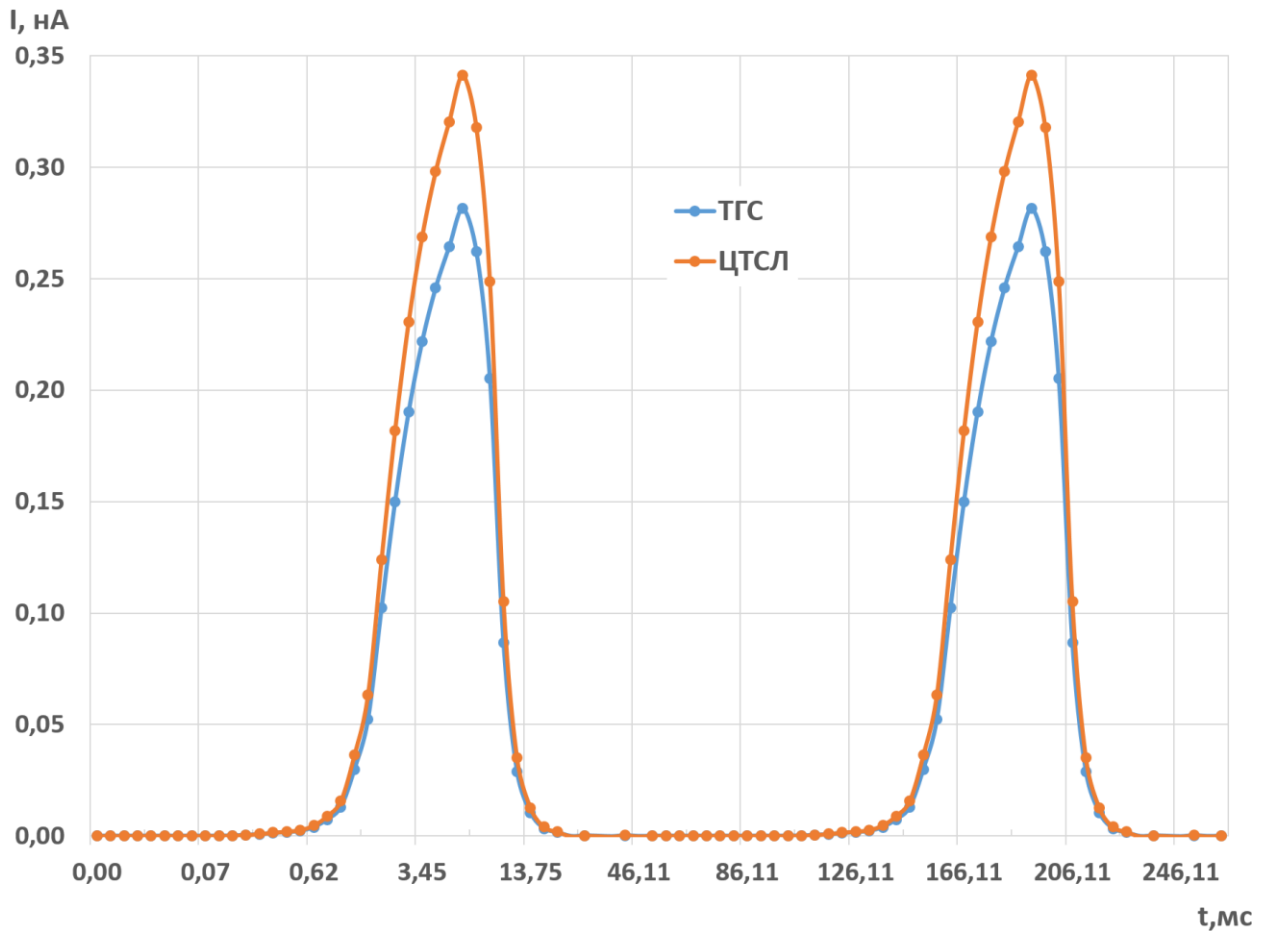


Рисунок 2.11 – Епюри імпульсів струму перетворювача з матеріалом піроелектрика ТГС і ЦТСЛ

Аналіз рисунку 2.11 показує, що амплітуда імпульсів струму при використанні ТГС становить 0,28 нА, а для ЦТСЛ – 0,345 нА. Таким чином вихідний струм збільшується у 127 і 157 разів відповідно.

З технологічної і вартісної точок зору ТГС є більш вигідним ніж ЦТСЛ. Тому раціональне використання у якості піроелектричного матеріалу перетворювача ТГС, так як незначне збільшення вихідного струму ЦТСЛ елементу не компенсується витратами на його виготовлення.

### 2.3 Дослідження зміни характеристик моделі біморфної мембрани

Дослідження розробленої моделі біморфної мембрани термоелектричного перетворювача виконувались у обчислювальному середовищі на базі програмного забезпечення ComsolMultiphysicsversion 5.5. Приклад моделювання зображено на рисунку 2.12.

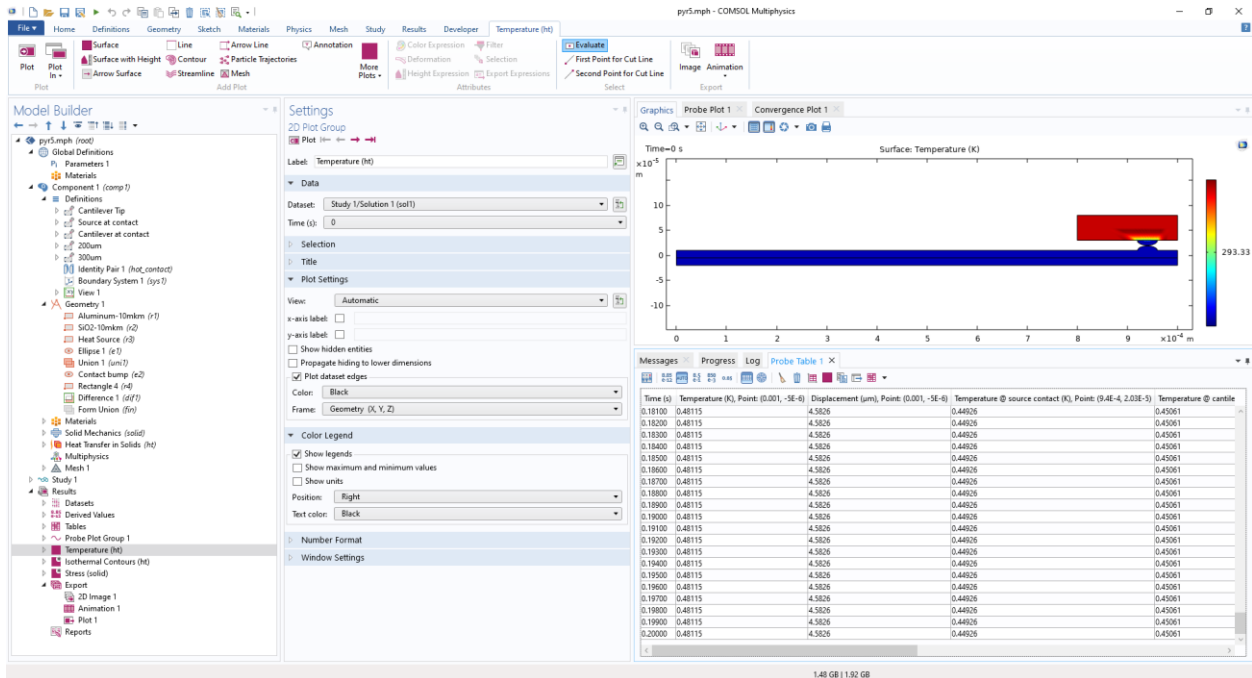


Рисунок 2.12 –Приклад виконання моделювання біморфної мембрани у ComsolMultiphysics version 5.5

Таким чином, змінюючи товщину та довжину можливо отримати результати зміни частоти та періоду коливань біморфної мембрани.

Вимірювання зміни температури та результат зміни механічних напружень відбувається у трьох точках, зображених на рисунку 2.13,14,15.



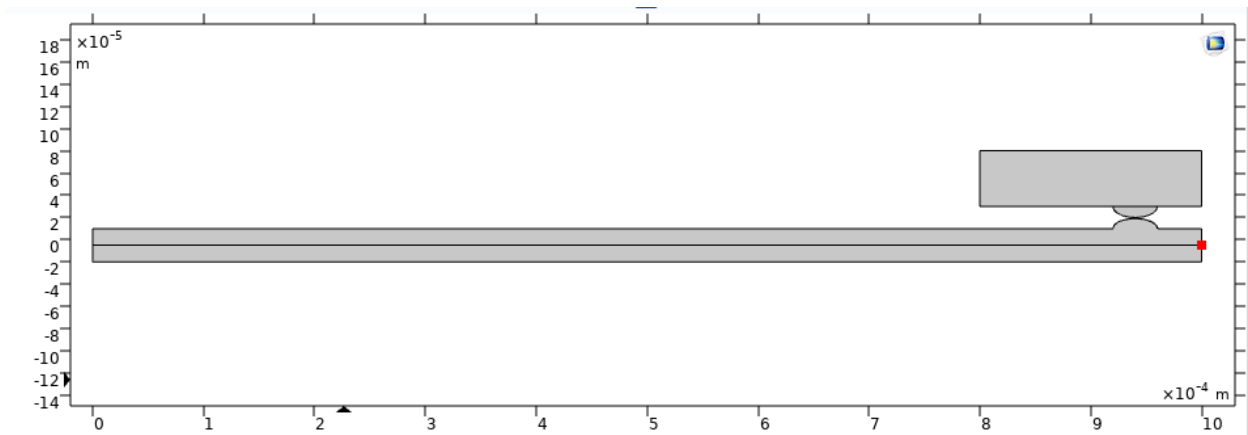


Рисунок 2.13 Місце знаходження першої точки.

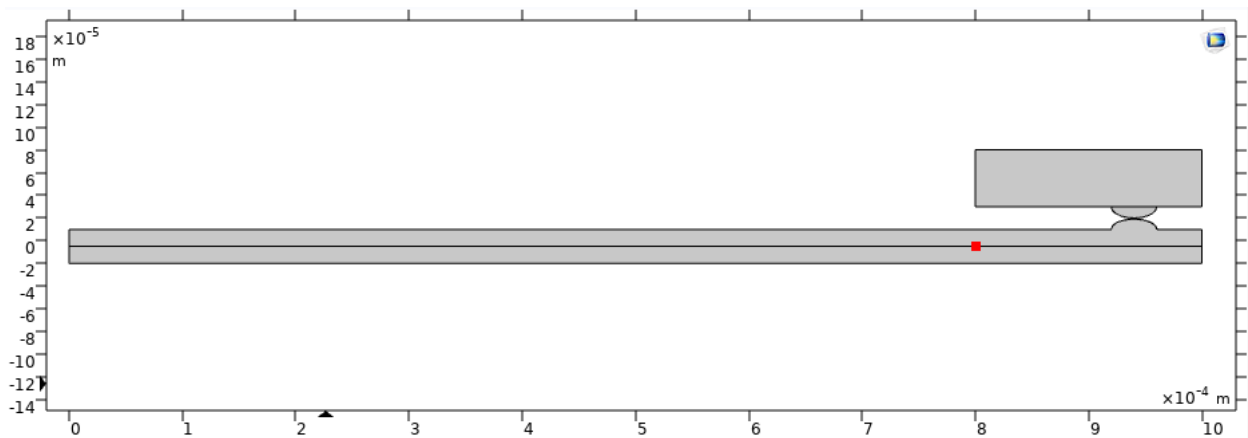


Рисунок 2.14 - Місце знаходження другої точки.

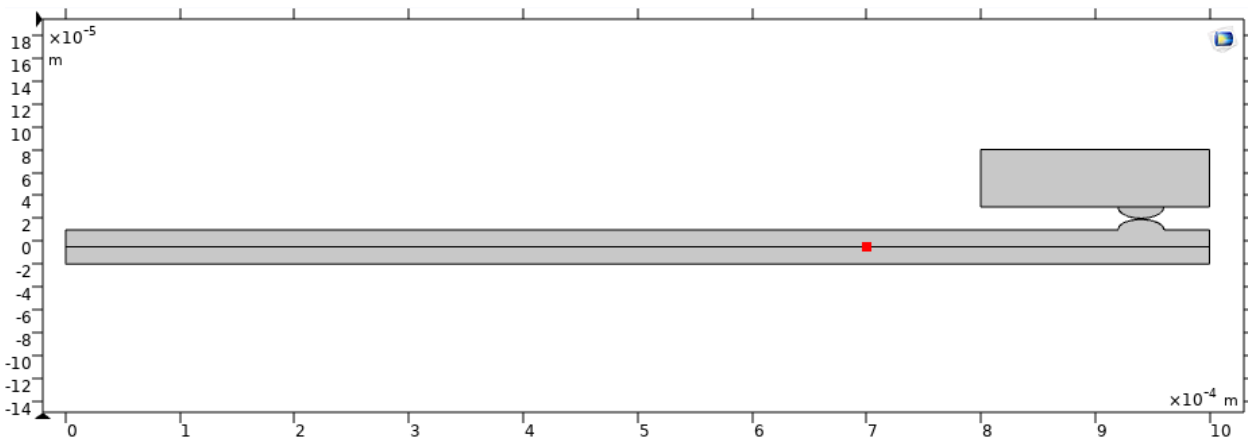


Рисунок 2.15 - Місце знаходження третьої точки.

### 2.3.1 Дослідження характеристик при зміні ширини біморфної мембрани

Маючи початкове значення ширини у 1 мкм, виконується покрокове збільшення на 1 мкм, довжина постійна. Для зміни ширини, використовується вкладка “Settings” вкладка “SizeandShape”, рядок “Height”. Приклад зображено на рисунку 2.16.

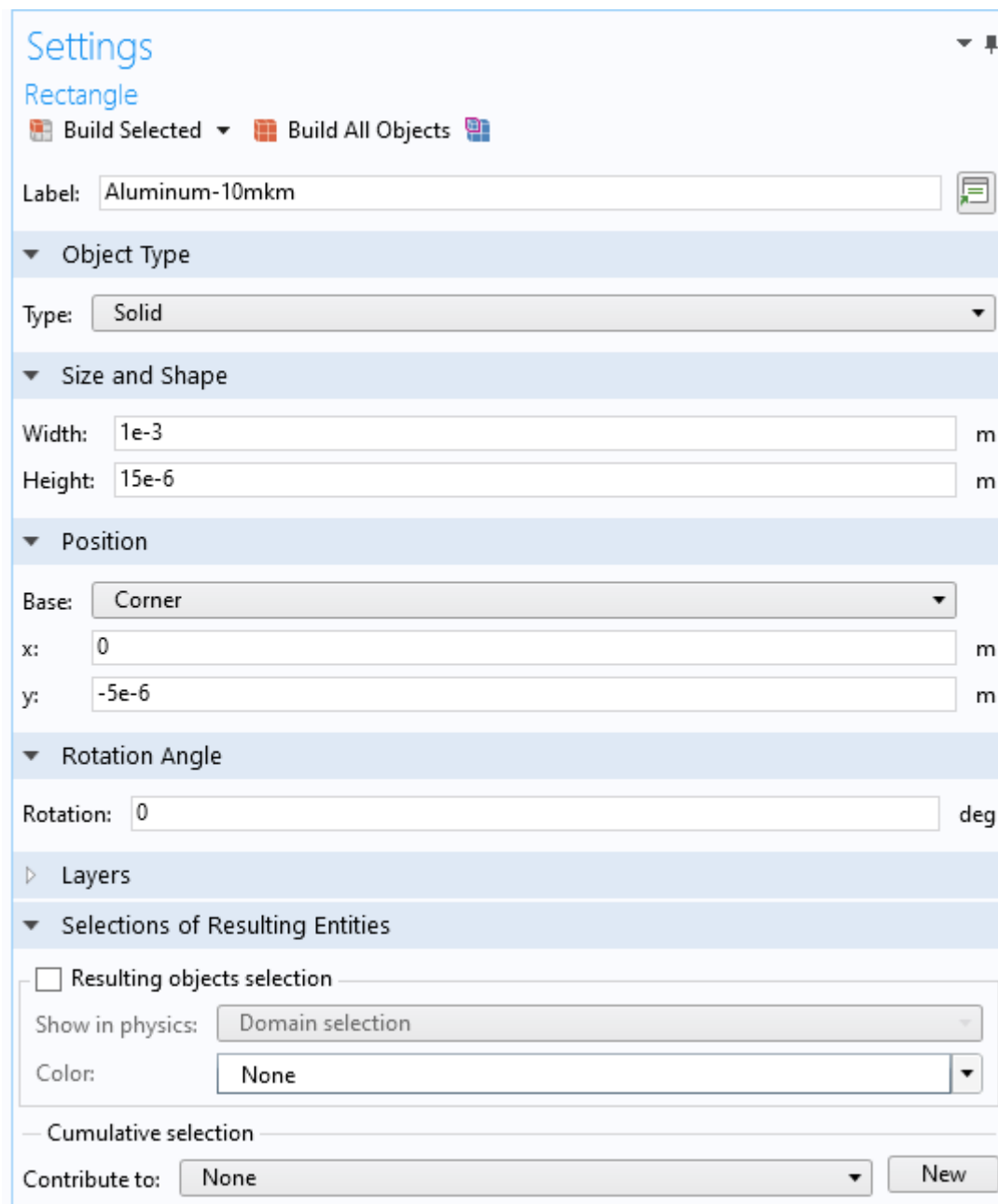


Рисунок 2.16 Приклад збільшення товщини на 5 одиниць у вкладці “Height”

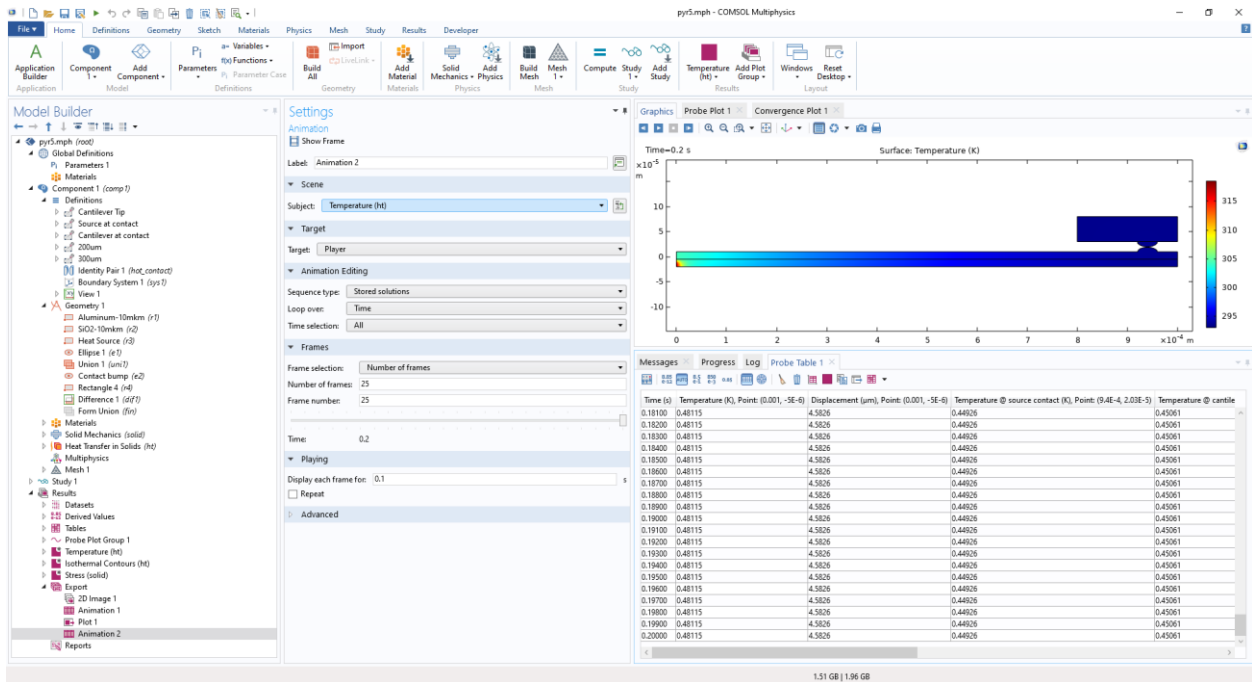


Рисунок 2.17 Моделювання зміни температури біморфної мембрани

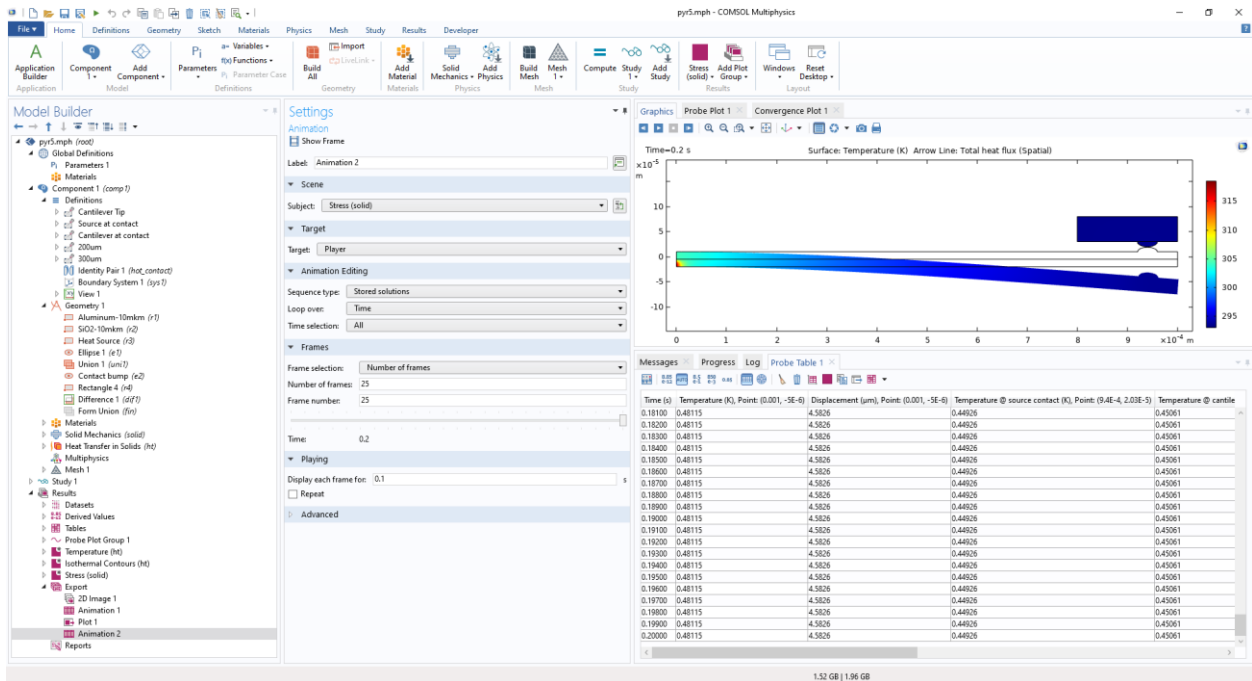


Рисунок 2.18 Моделювання механічних коливань біморфної мембрани

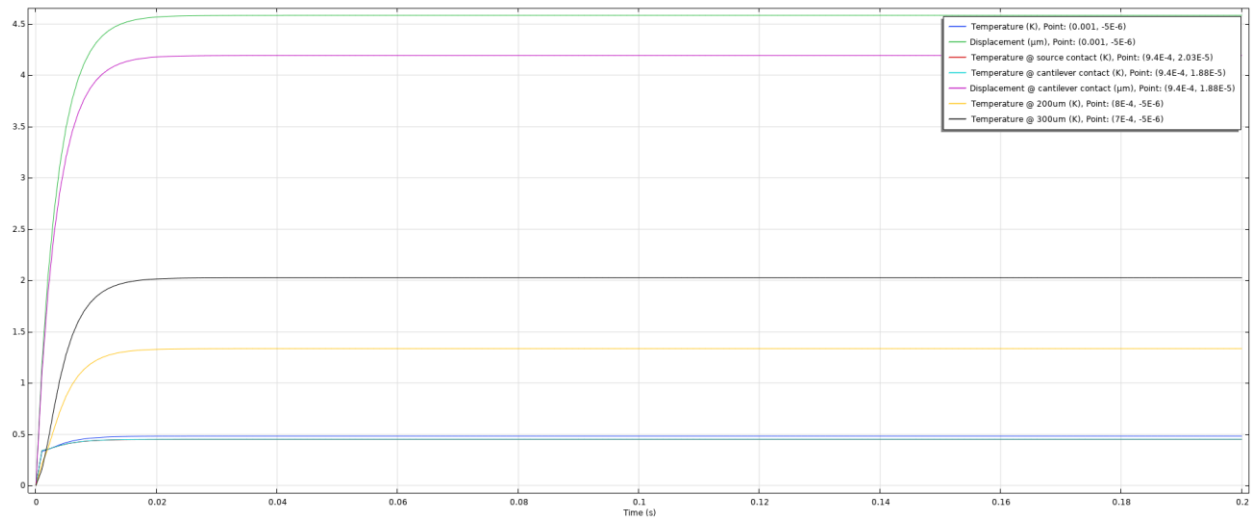


Рисунок 2.19 – Графік зміни температури та механічного напруження відносно часу для ширини 2 мкм.

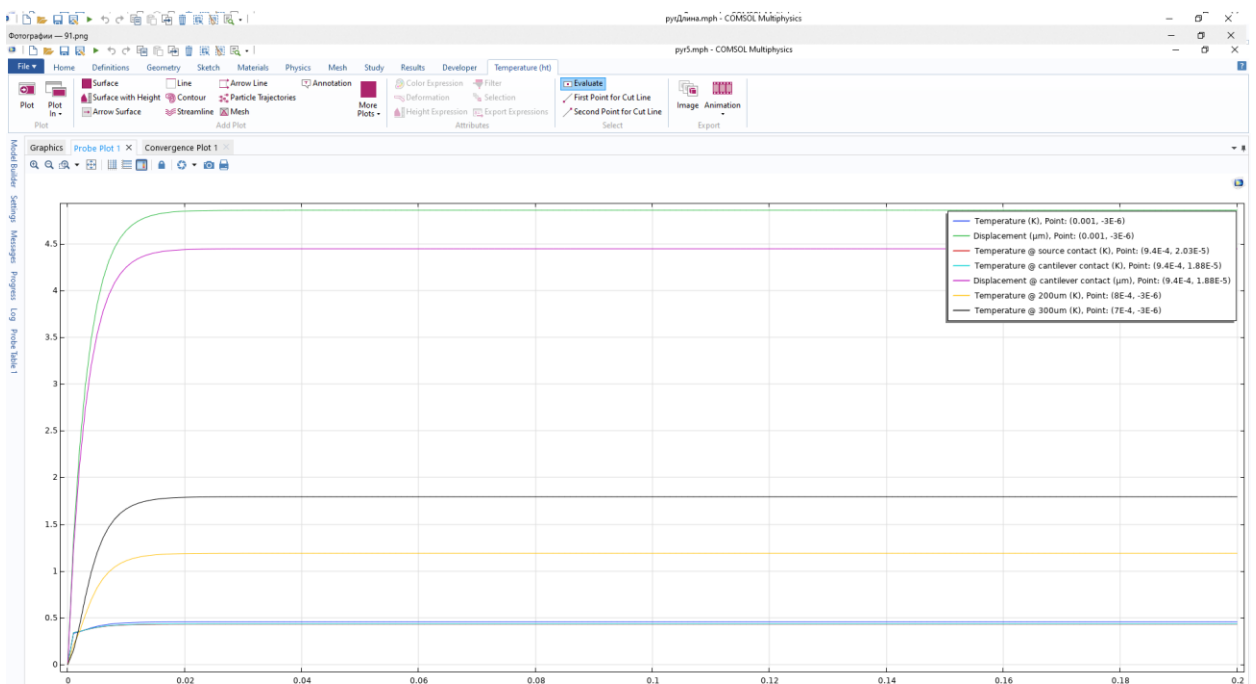


Рисунок 2.20 – Графік зміни температури та механічного напруження відносно часу для ширини 4 мкм.

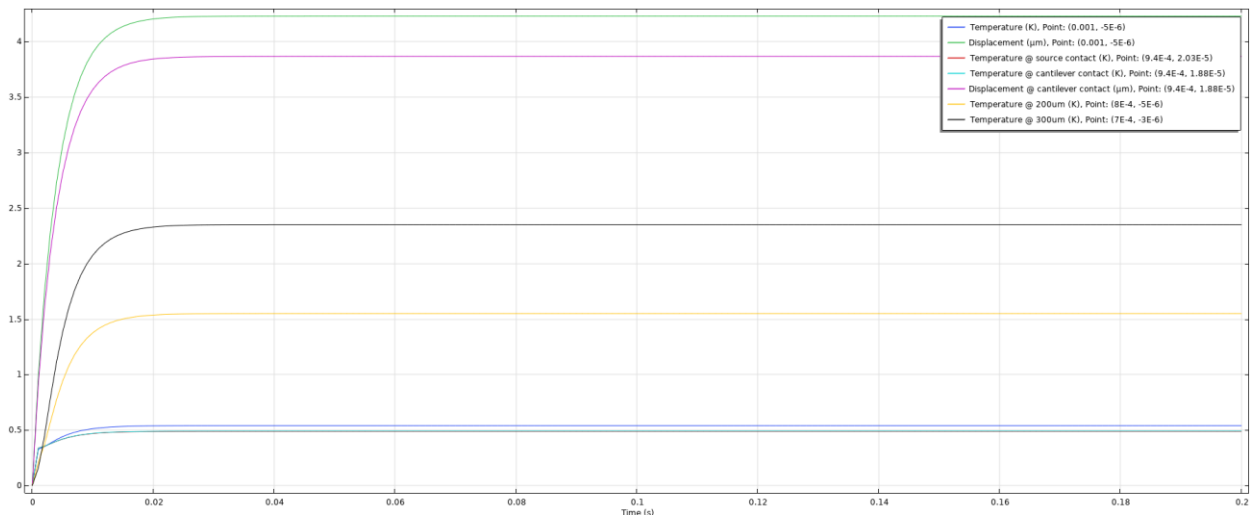


Рисунок 2.21 – Графік зміни температури та механічного напруження відносно часу для ширини 8 мкм.

Виконуючи поетапне збільшення ширини визначено, що період коливань та частота не змінюється. Період  $T=0,06$  с, а частота  $f=16,67$  Гц.

### 2.3.2 Дослідження характеристик при зміні довжини біморфної мембрани

Маючи початкове значення довжини у 10 мм, виконується покрокове збільшення на 1 мм, довжина постійна. Для зміни ширини, використовується вкладка “Settings” вкладка “SizeandShape”, рядок “Width”. Приклад зображено на рисунку 2.17

Settings ▼ 📌

Rectangle

Build Selected ▼ Build All Objects

Label:

▼ Object Type

Type:  ▼

▼ Size and Shape

Width:  m

Height:  m

▼ Position

Base:  ▼

x:  m

y:  m

▼ Rotation Angle

Rotation:  deg

▸ Layers

▼ Selections of Resulting Entities

Resulting objects selection

Show in physics:  ▼

Color:  ▼

— Cumulative selection

Contribute to:  ▼

Рисунок 2.22 Приклад збільшення довжинина 5 одиниць у вкладці “Width”

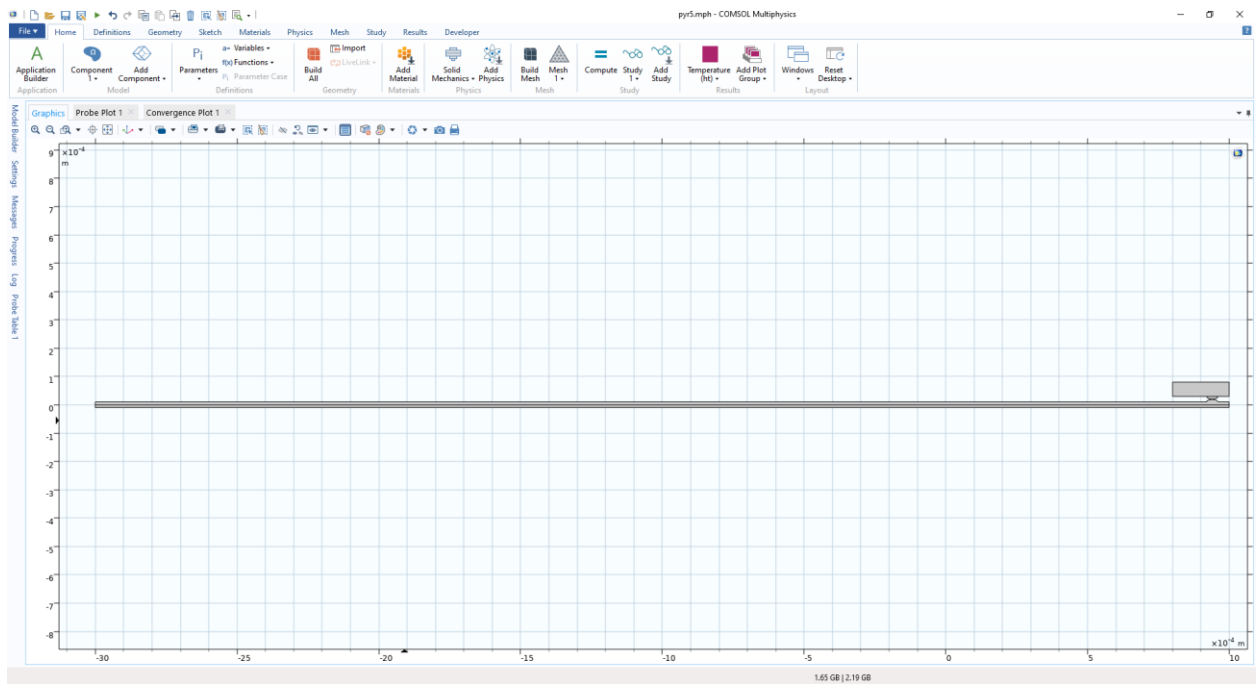


Рисунок 2.23 – Приклад збільшення довжини від початкової на 4 мм біморфної мембрани.

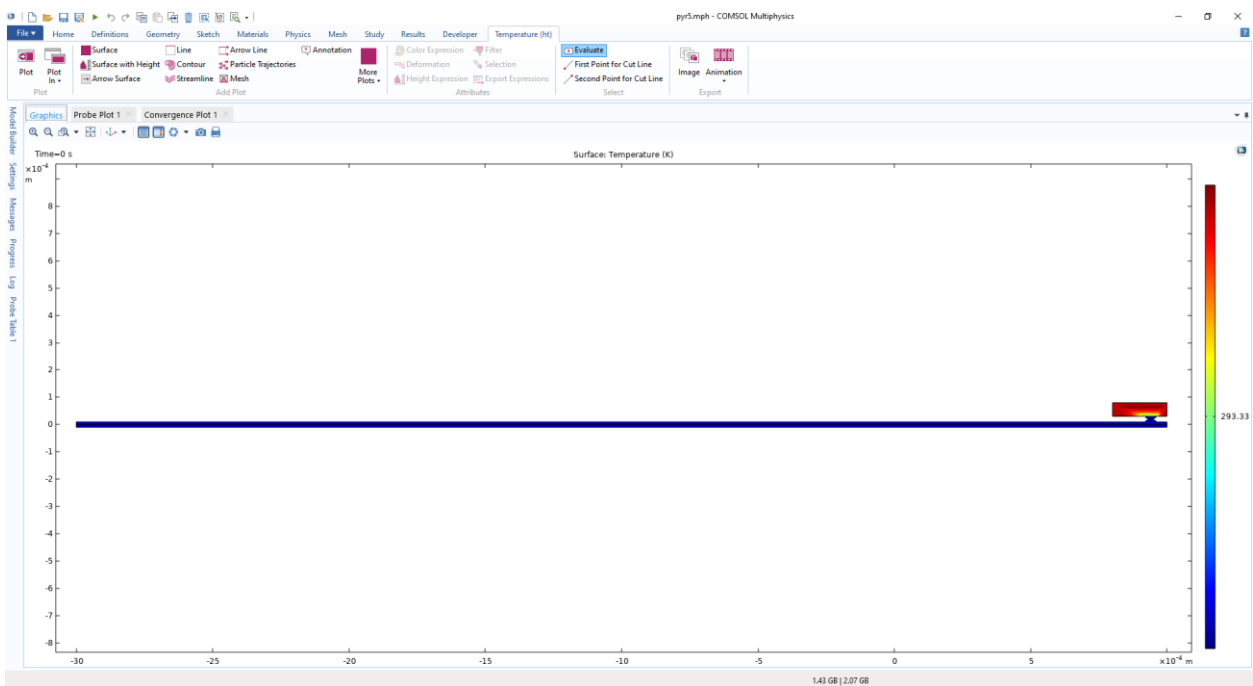


Рисунок 2.24 - Моделювання зміни температури біморфної мембрани



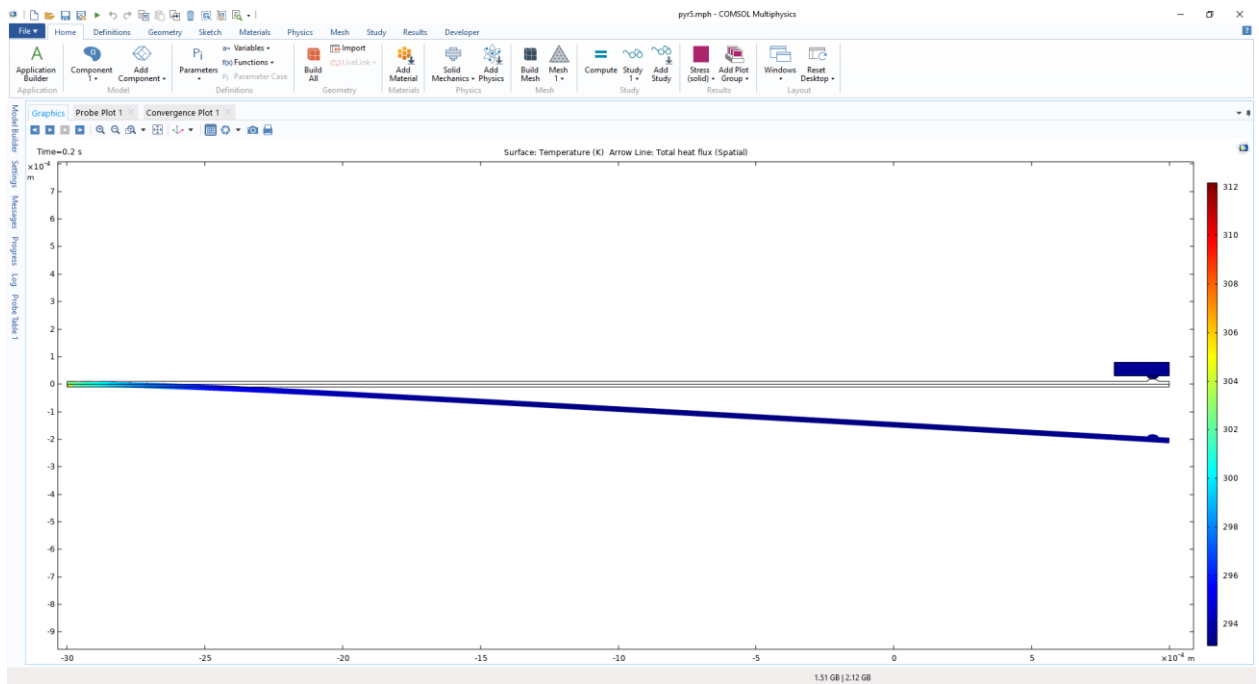


Рисунок 2.25 - Моделювання механічних коливань біморфної мембрани

Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань зображені на рисунках 2.21,22,23,24,25,26,27,28,29.

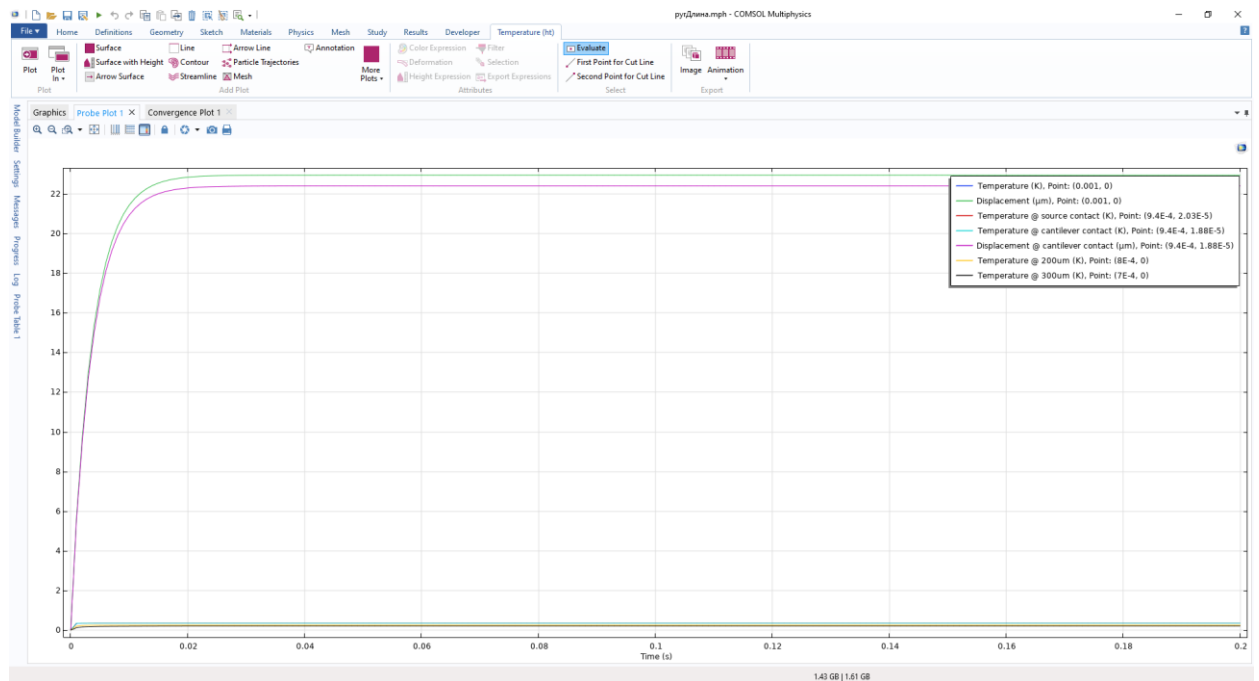


Рисунок 2.26 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 12 мм.

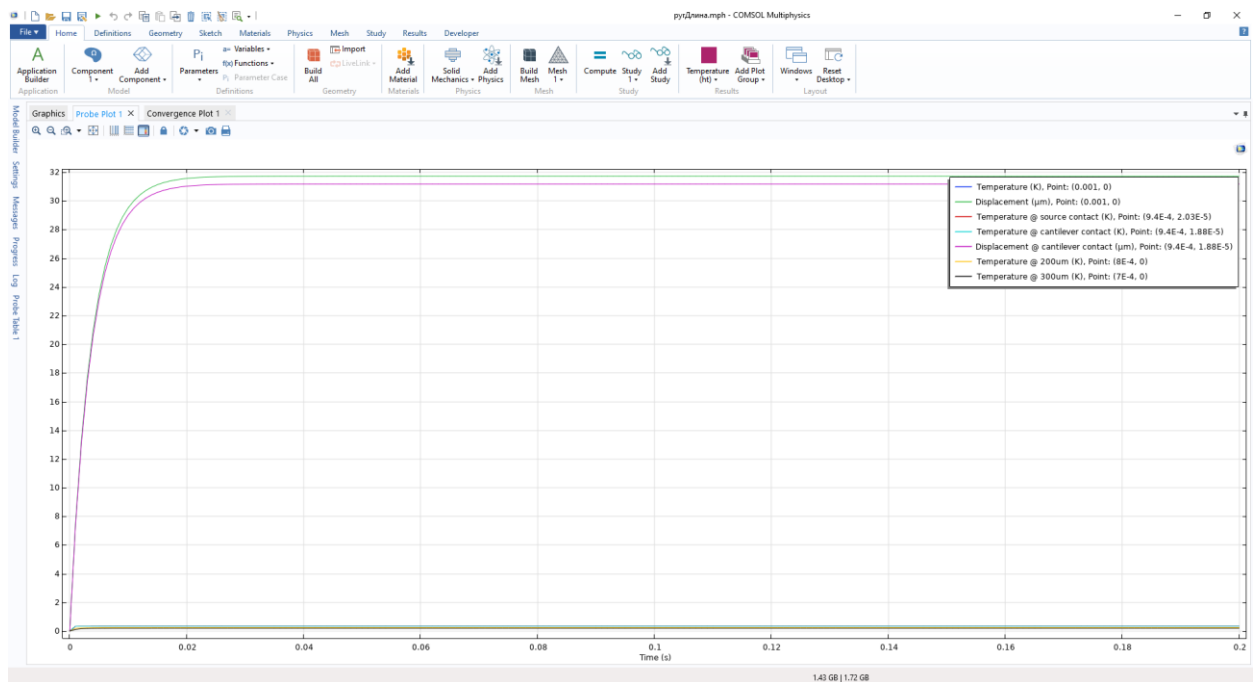


Рисунок 2.27 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 14 мм.

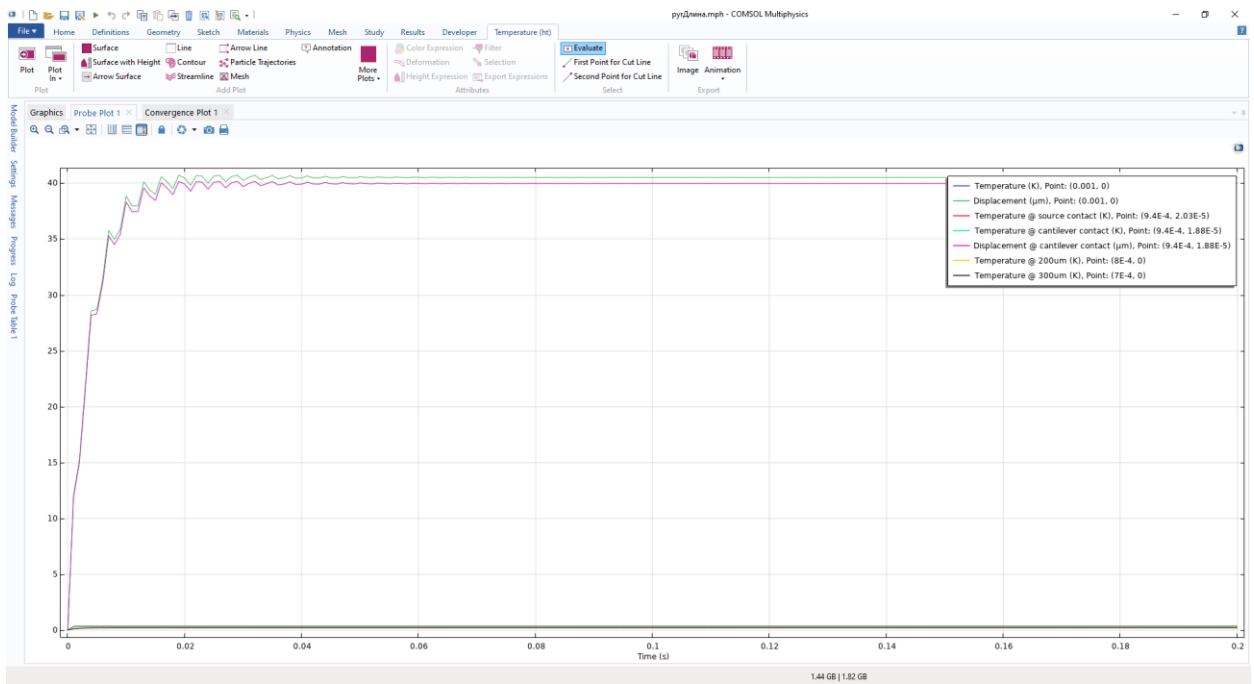


Рисунок 2.28 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 15 мм.

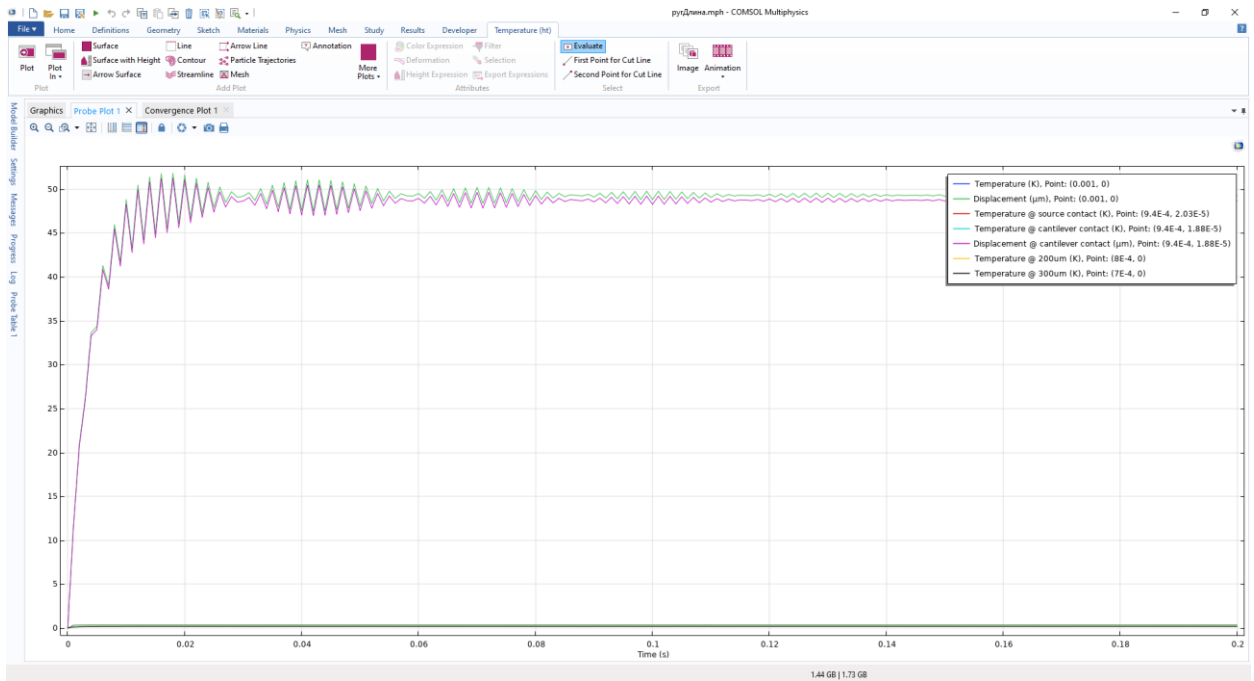


Рисунок 2.29 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 16 мм.

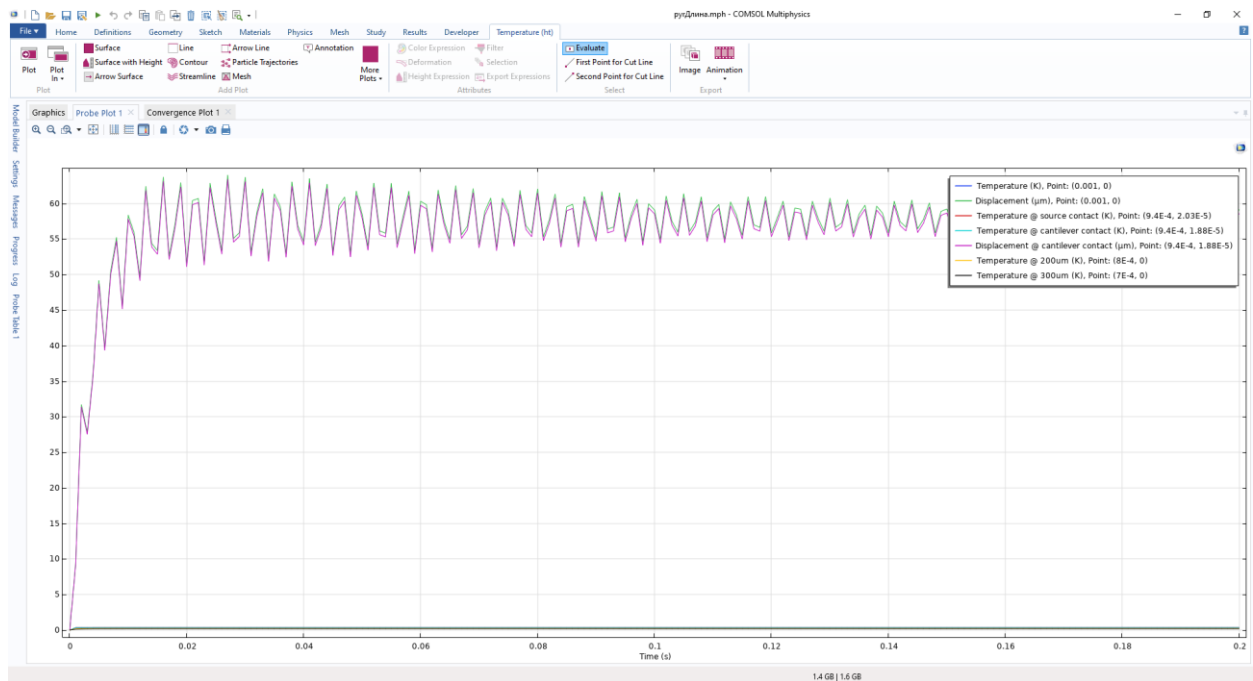


Рисунок 2.30 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 17 мм.

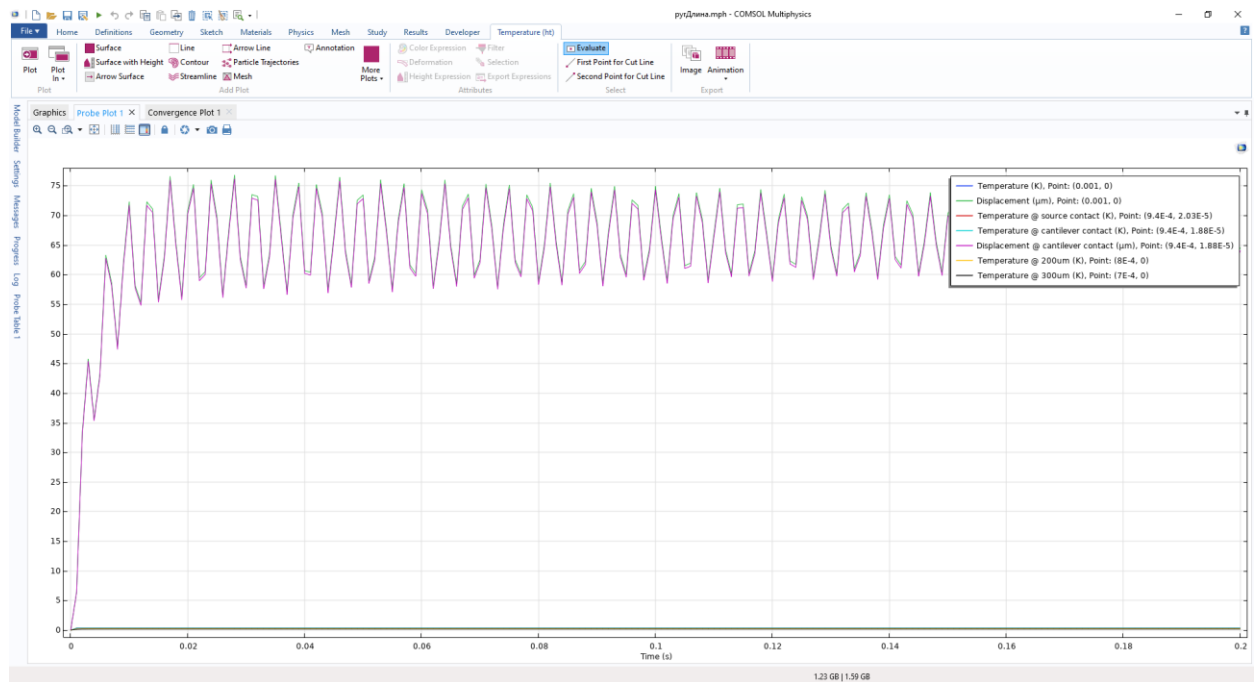


Рисунок 2.31 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 18 мм.

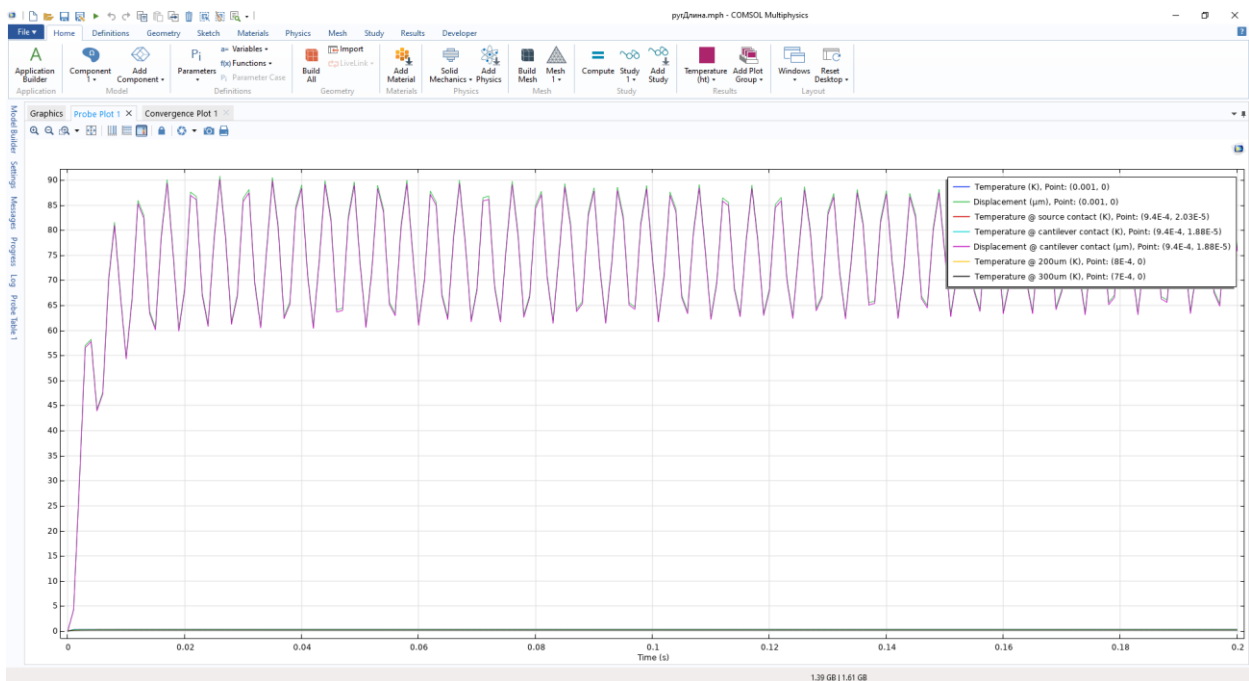


Рисунок 2.32 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 19 мм.

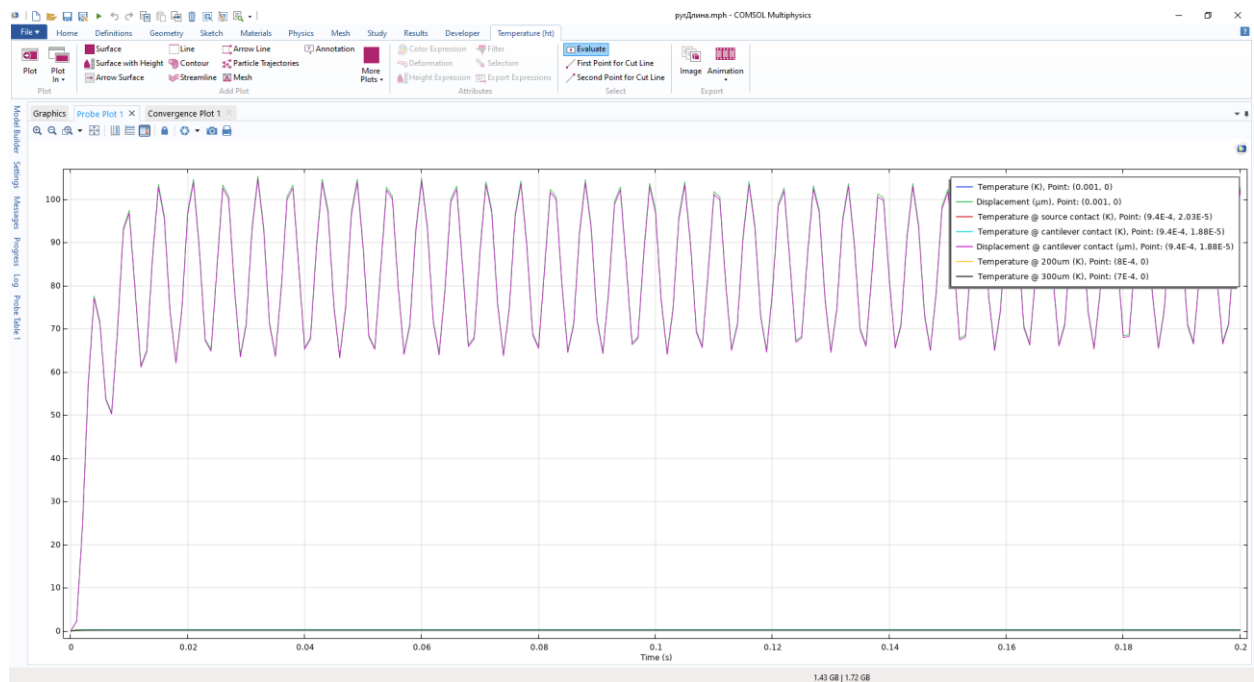


Рисунок 2.33 - Графіки досліджень зміни температури та механічних коливань при довжині 20 мм.

За допомогою отриманих результатів змін температури та механічних коливань було побудовано графік зміни частоти згідно зі зміною довжини. Розраховані частоти та період занесені у таблицю 2.1. Графік зміни частоти зображено на рисунку 2.29

Таблиця 2.1 –Розраховані період та частота при змінах довжини

l, мм	T,с	f, Гц
1	0,08	12,5
2	0,08	12,5
3	0,08	12,5
4	0,072	13,88889
5	0,072	13,88889
6	0,164	6,097561
7	0,168	5,952381

8	0,172	5,813953
9	0,182	5,494505
10	0,196	5,102041

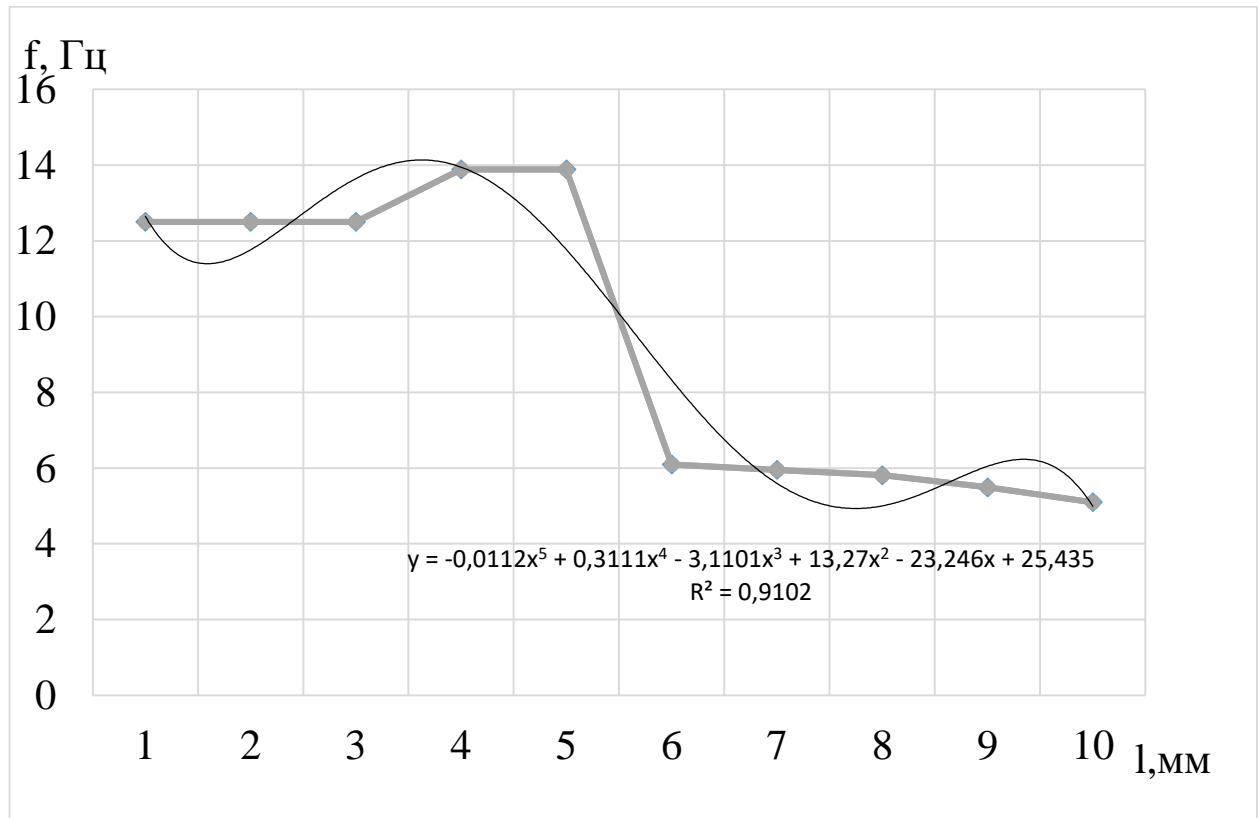


Рисунок 2.34 – Графік зміни частоти відносно зміни довжини.

Отримана залежність дозволяє визначити амплітуду частоти перетворювача згідно зі зміною розмірів довжини з похибкою не більш ніж 0,01, що оцінювалось за допомогою коефіцієнту множинної кореляції  $R^2$  (рис.2.29).

## 2.4 Розробка структури збирача теплової енергії

Для дослідження впливу теплової енергії на частоту вихідних імпульсів перетворювача було проведено його моделювання в системі ComsolMultiphysics в діапазоні температур нагрівача від 293 К до 320 К. Вихідними даними цих розрахунків було визначення періоду повторення імпульсів струму піроелементу. Отримані таким чином результати наведені на рисунку 2.12, де за періодом вихідного сигналу розраховано частоту.

З метою отримання аналітичної залежності частоти вихідних імпульсів від ступеня нагріву поглинача було здійснено апроксимацію результатів моделювання степеневою і логарифмічною залежністю. При цьому точність апроксимації оцінювалось за допомогою коефіцієнту множинної кореляції  $R^2$ . Порівнюючи відповідні значення, можливо зробити висновок, що більш адекватним є представлення залежності  $f(dT)$  за допомогою степеневої функції:

$$f=70,983dT^{-0,335}, \quad (2.5)$$

де  $dT$ – приріст температури нагрівача, К.

Але основною проблемою при розробці збирача не використаної теплової енергії є невеликі значення (0,27 нА) вихідного струму перетворювача і



нестабільність його появи. Тому розроблено структуру пристрою для збирання теплової енергії, що наведено на рисунок 2.13.

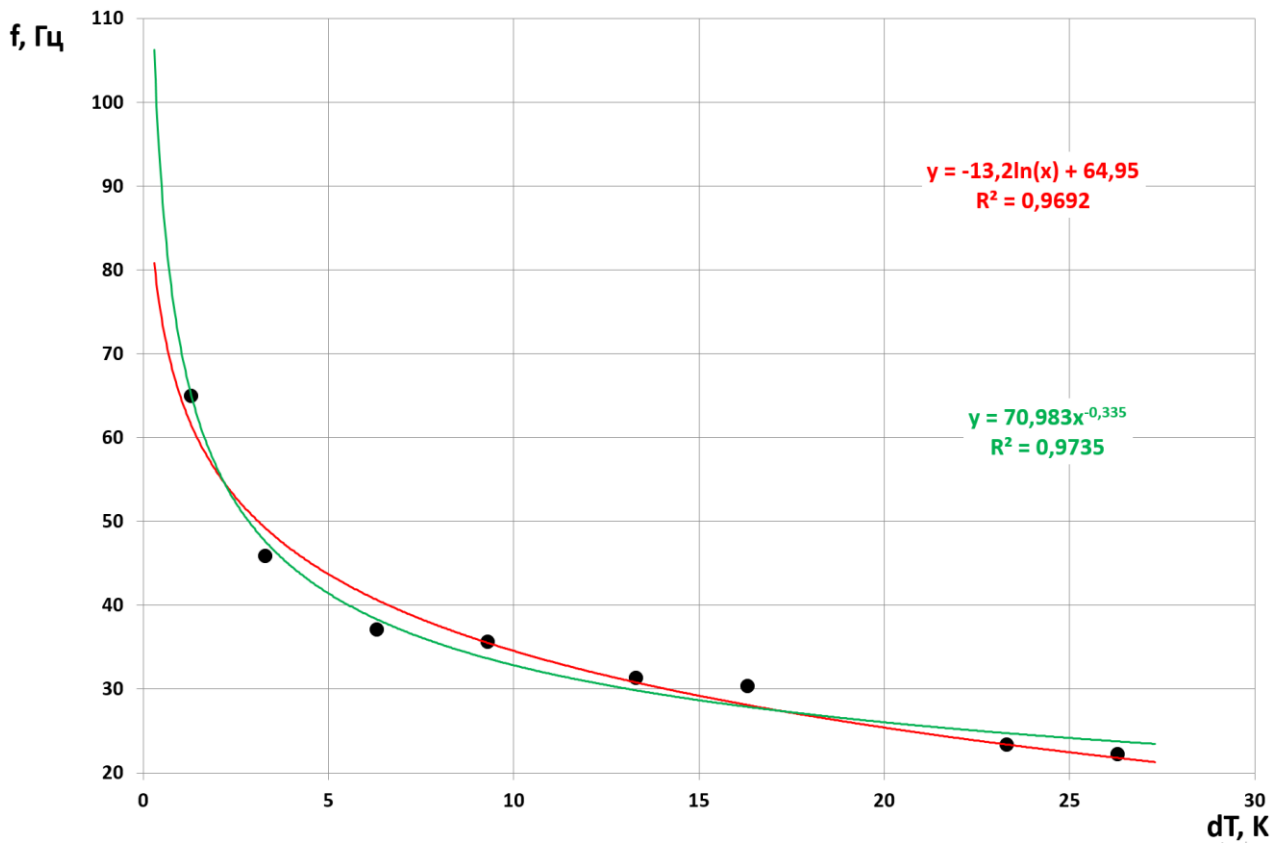


Рисунок 2.35 – Залежність частоти імпульсів піроелементу від приросту нагрівання поглинача

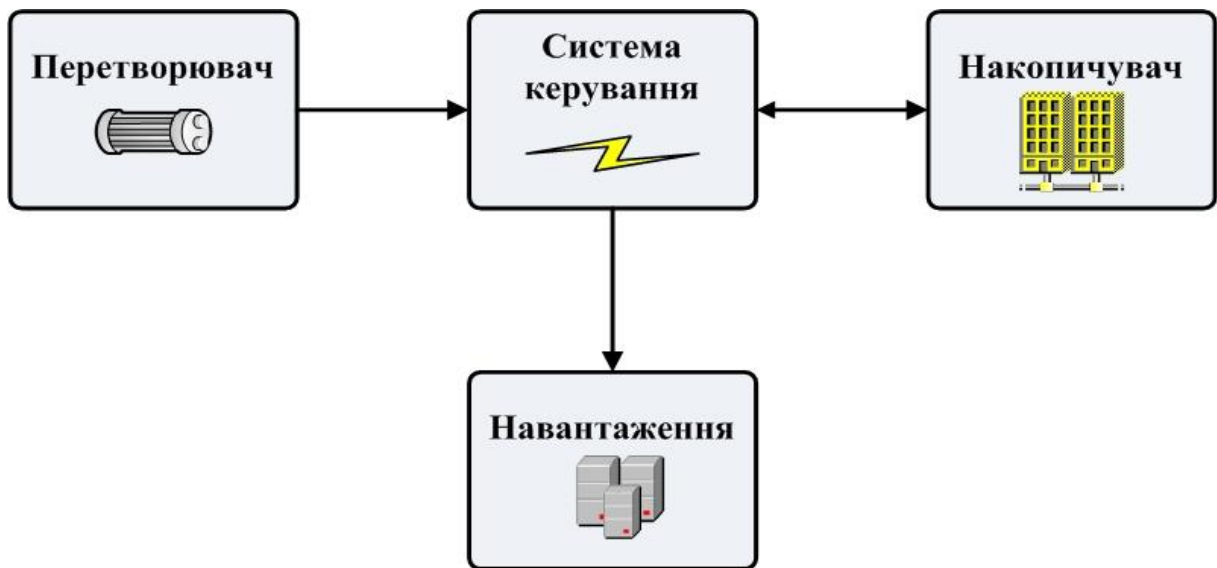


Рисунок 2.36 – Структура пристрою для збирання теплової енергії

До структури входять термоелектричний перетворювач, накопичувач енергії, що генерується перетворювачем і схема керування. Для функціонування збирача у якості альтернативного джерела живлення потрібно підтримувати стабільні параметри напруги на навантаженні. Таким чином система керування призначена для управління зарядом накопичувача від перетворювача, контролювання стану накопичувача і поданням енергії від нього до навантаження з додатковим перетворюванням її параметрів до специфікаційних значень джерела живлення.

#### 2.4 Розробка схеми електричної принципової збирача теплової енергії

На основі структурної схеми збирача було розроблено схему електричну принципову, яка показана на рисунку 2.14, а перелік елементів до якої наведено у Додатку А.

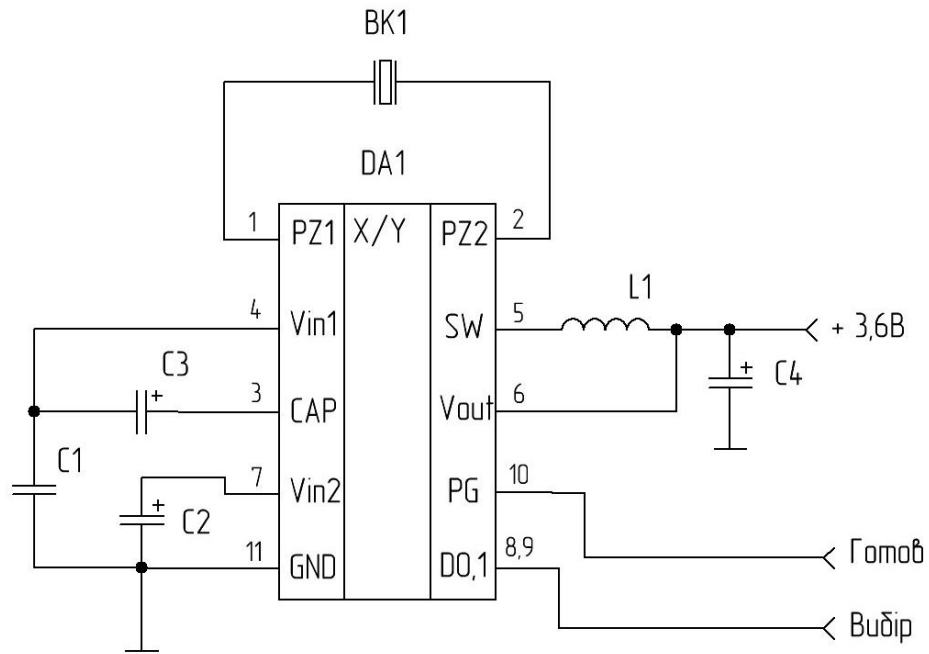


Рисунок 2.37 – Схема електрична принципова збирача теплової енергії

У розробленій схемі у якості накопичувача електричної енергії використовуються суперконденсатор С, що через систему керування отримує заряд від перетворювача. Це обумовлено зменшенням струмів витоку як всього збирача, так і суперконденсатора. До того ж, такий накопичувач має менші ваго-габаритні показники у порівнянні з класичними хімічними джерелами струму.

Система керування призначена для перетворення сигналу перетворювача з метою забезпечення заряду накопичувача. При цьому така схема повинна містити містовий випрямляч з низькими втратами, послідовно з яким поєднано синхронний імпульсний DC/DCперетворювач.

Аналіз номенклатури сучасних інтегральних систем керування накопичувачами електричної енергії показав, що для побудови збирача теплової енергії раціонально використання мікросхеми LTC3588 [28]. Такий прилад призначено для формування конструкції збирачів енергії від джерел енергії з

високим вихідним імпедансом: п'єзоелектричні, сонячні, піроелектричні або магнітні перетворювачі (рис.2.15).

Зовнішній термоелектричний перетворювач під'єднується до виводів 1, 2. За допомогою виводів 3, 4 до VT2, що виконує функцію перемикача додається зовнішній конденсатор C2, який заряджається від накопичувача C1. Внутрішній випрямляч VD1 виконано за мостовою схемою і характеризується падінням напруги не більш 400 мВ при струмах, що генерується перетворювачем. Максимальний струм випрямляча не повинен перевищувати 50 мА.

Якщо напруга на накопичувачі стає більш ніж напруга живлення, то активується система зниження. Також за допомогою виводів 7, 3 і конденсатора C3 створюється з напруги на накопичувачі два джерела опорної напруги, що використовуються для керування транзисторами VT1, VT2. Окрім цього, джерела опорної напруги використовуються у якості еталонів логічних рівнів на виводах 8, 9. Якщо напруга вив. 4 стає нище ніж 4,8 В то потенціал вив. 7 дорівнює потенціалу вив. 4 і C1 не заряджається. Вихідна напруга мікросхеми знімається з вив. 6 і керується регулятором Р і зовнішнім ланцюгом C4, L1.

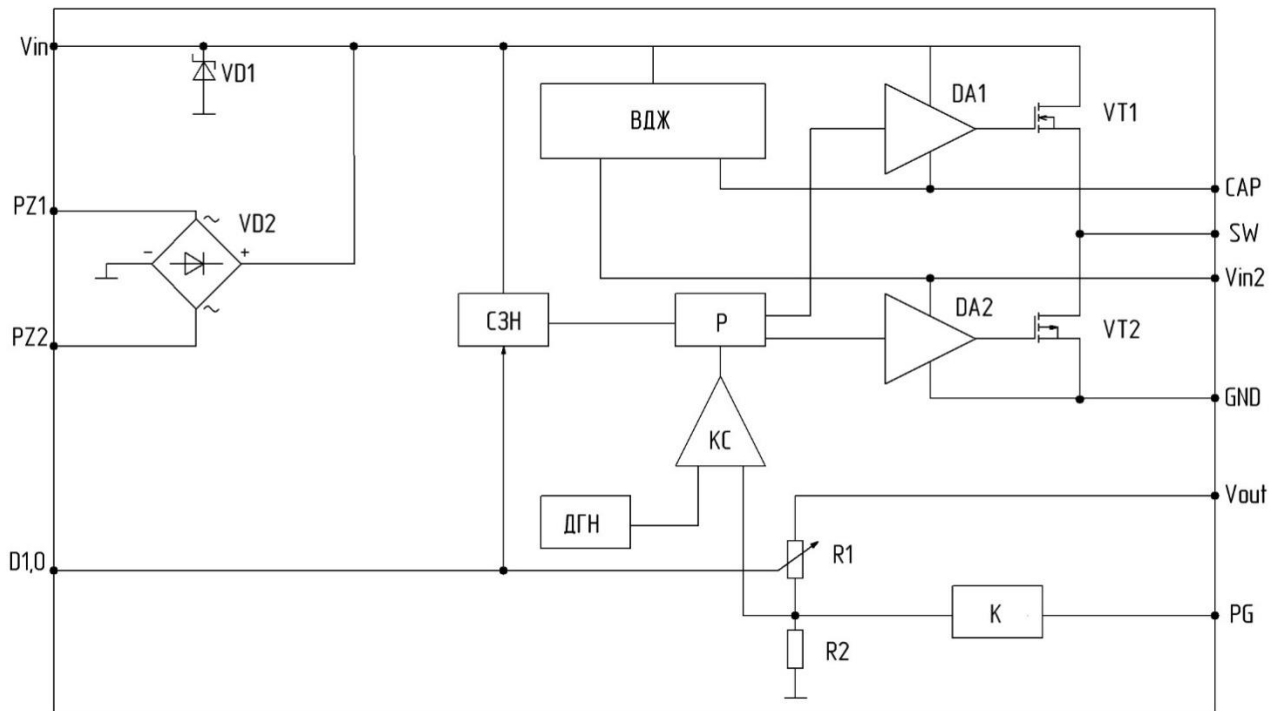


Рисунок 2.38 – Структура інтегрального перетворювача LTC3588

Компаратор К через дільник напруги R1, R2 стежить за станом вихідної напруги. Якщо її рівень стає нищим ніж 0,92 від номінального значення то на вив. 10 з'являється рівень логічної 1. Цей сигнал може використовуватись для активації зовнішньої цифрової схеми, що знаходиться у сплячому режимі.

## 2.5 Моделювання збирача теплової енергії

З метою перевірки працездатності розробленої схеми збирача було проведено її схемотехнічне моделювання у середовищі LTspiceXVII [29]. Завдання для моделювання збирача наведено на рисунку 2.16.

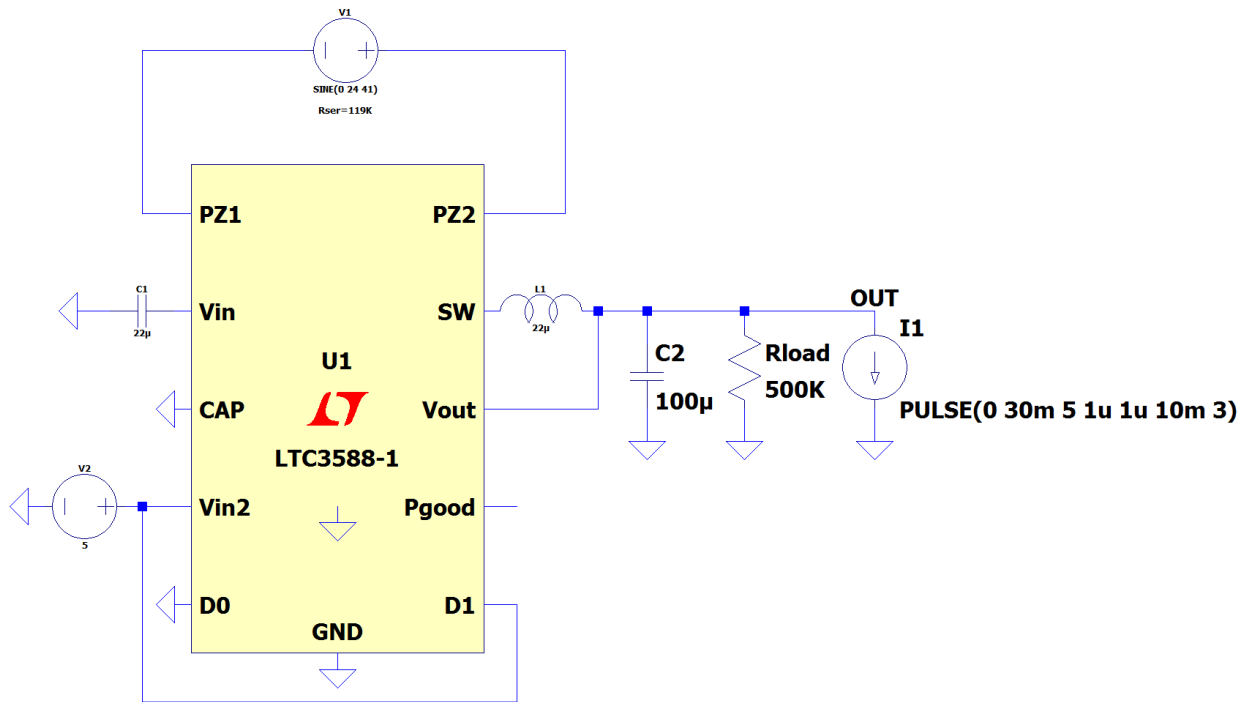


Рисунок 2.39 – Завдання для моделювання збирача теплової енергії

При моделюванні у якості перетворювача використовувалось джерело напруги V1 з частотою імпульсів 41Гц і амплітудою 24В. Замість конденсаторів C2,3 (рис.2.14) було використано джерело опорної напруги V2. У якості навантаження застосовано паралельно з'єднані активний опір Rload і джерело імпульсного струму I1.

Результати моделювання наведені на рисунку 2.17, 2.18.

Аналіз рисунку 25 показує, що протягом інтервалу моделювання у 5 с, відбувається зменшення амплітуди імпульсів струму перетворювача з  $\pm 150\mu\text{A}$  до  $\pm 63\mu\text{A}$ . При цьому на виході збирача спостерігається імпульси напруги від 3,29 В до 3,31 В з частотою 1,43 Гц. Уявлення з утворення цих імпульсів дає

рисунок 2.17, де суміщені епюри вихідної напруги і струму суперконденсатора. Таким чином зменшення вихідної напруги зазначеною частотою до рівня 3,29 В пов'язано з розрядом суперконденсатора.

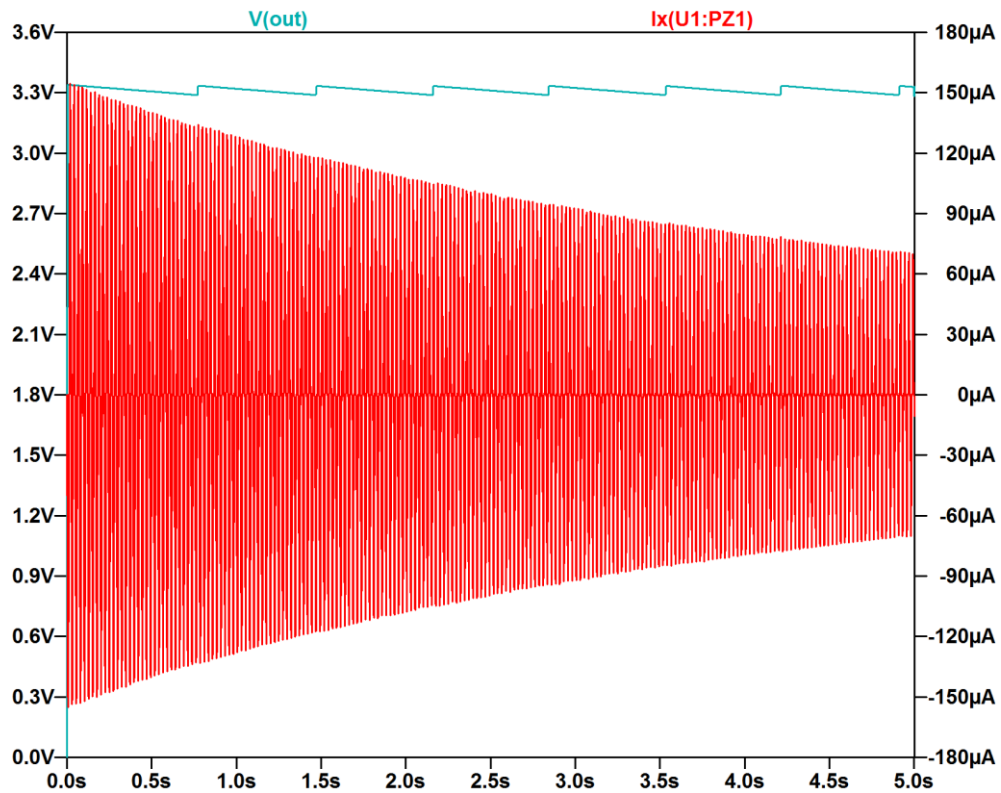


Рисунок 2.40 – Епюри струму перетворювача і вихідної напруги збирача

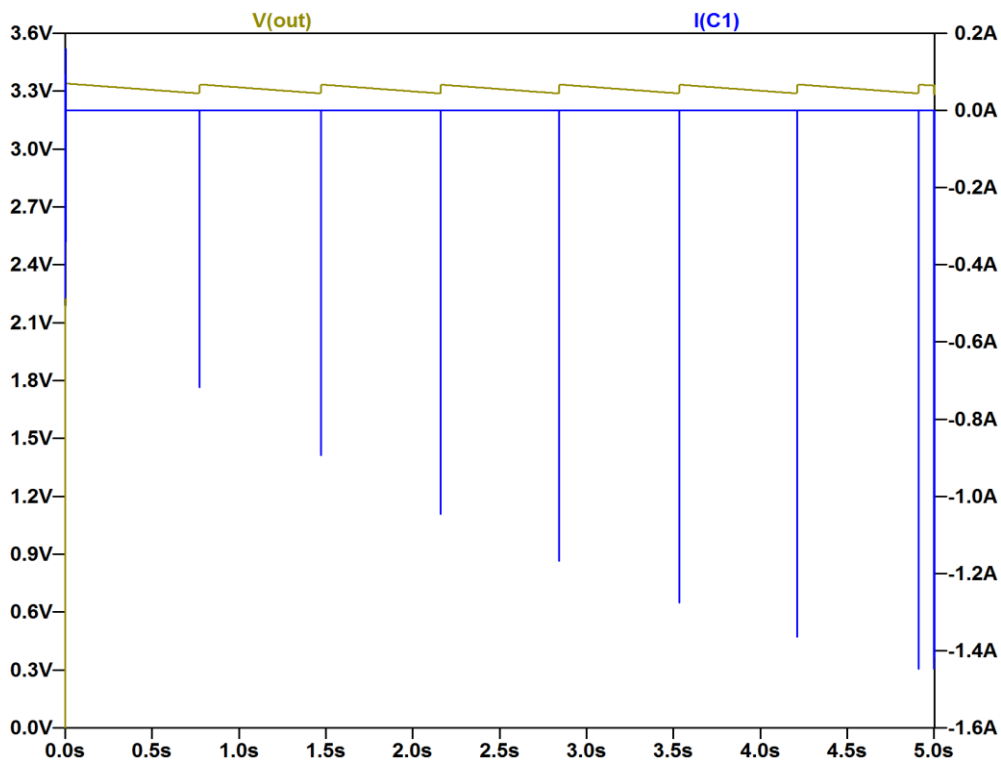


Рисунок 2.41 – Епюри струму заряду суперконденсатора і вихідної напруги збирача

Наведені результати показують працездатність розробленої схеми збирача. Також встановлено, що коефіцієнт пульсації вихідної напруги схеми зменшується при збільшенні ємності суперконденсатора.

## 2.6 Розробка печатної плати збирача теплової енергії

Топологія печатної плати розроблялася з урахуванням наступних вимог [30]: відповідність принциповій електричній схемі, задоволення всім конструктивним вимогам, що пред'являються; топологія складається так, щоб для виготовлення печатної плати потрібна найбільш проста і дешева технологія, забезпечувався заданий тепловий режим і можливість перевірки компонентів в процесі виготовлення; оцінюється вплив і індуктивних зв'язків, ємностей, на



роботу схеми. Основним завданням при розробці топології є мінімізація площі, мінімізація сумарної довжини розводки і числа перетинів в ній [30].

В цілях зменшення кількості технологічних операцій виготовлення печатної плати і усунення паразитної ємкості, в комутаційній схемі відсутні перетини провідників. Провідники розташовані рівномірно за всією площею плати. У схемі допускаються перетини провідників з резисторами, а також з балочними виведеннями мікросхем з ізоляцією шаром діелектрика. Така конструкційна особливість не робить вплив на працездатність схеми.

Оскільки досліджувані схеми відносяться до розряду низькочастотних, то монтажна ємкість печатних провідників (паразитна ємкість 1см провідника 0,5пФ) не робить істотного впливу на роботу схем. Згідно вимогам до конструкції пристрою збереження інформації на електронних картах, інтегральні схеми розташовані в центрі печатної плати. Топологія спроектована в прямокутній системі координат в масштабі 10:1. Для автоматизованої розводки використовувався САПР Sprint Layout v.6.0 [31].

При розробці топології використані викладені нижче дані і міркування.

Комутаційний шар печатної плати формується методом травлення. Для запобігання браку в процесі формування струмопровідного шару мінімальна ширина струмопровідних доріжок вибрана рівною 0,31мм; мінімальна ширина зазору між доріжками 0,31мм. За щільністю печатної плати відноситься до 3 класу точності, що дозволяє використовувати трафарети для нанесення паяльної пасти з метою паяння компонентів в конвекційній печі.

Печатна плата 3 класу точності з мідним електрично осадженим покриттям товщиною 50 мкм розрахована на максимальну напругу 25В і максимальну силу струму 240мА. Таким чином, електричні параметри не накладають обмежень на структуру топології печатної плати.

Відстань від краю плати до струмопровідної доріжки – 0,5мм.

Печатна плата містить один провідний шар. Розміри плати складають 38x30x20 мм, що показує її мініатюрність і зручність експлуатації.

Топологія печатної плати пристрою запису зображена на рисунк 2.19

Очищення і знежирення підкладок перед нанесенням лаку проводиться марлевым тампоном, змоченим в ацетоні.

Виготовлення печатних плат третього класу точності передбачає можливість нанесення лаку простим способом – нанесенням ракелем.

Після нанесення шару лаку слідує операція сушки, яка здійснюється в конвекційній печі при температурі 100 °С тривалістю п'ять хвилин.

Видалення лаку проводиться марлевым тампоном, змоченим в ацетоні.

Хімічне травлення незахищених ділянок мідної фольги проводиться у водному розчині хлорного заліза. Контроль тривалості травлення – візуальний. Орієнтовні параметри операції наступні: під час травлення плати в розчині температурою 50 °С – 6 хвилин, час промивання проточною водою – 2 хвилини.

Потім плата промивається проточною водою і сушать при кімнатній температурі.

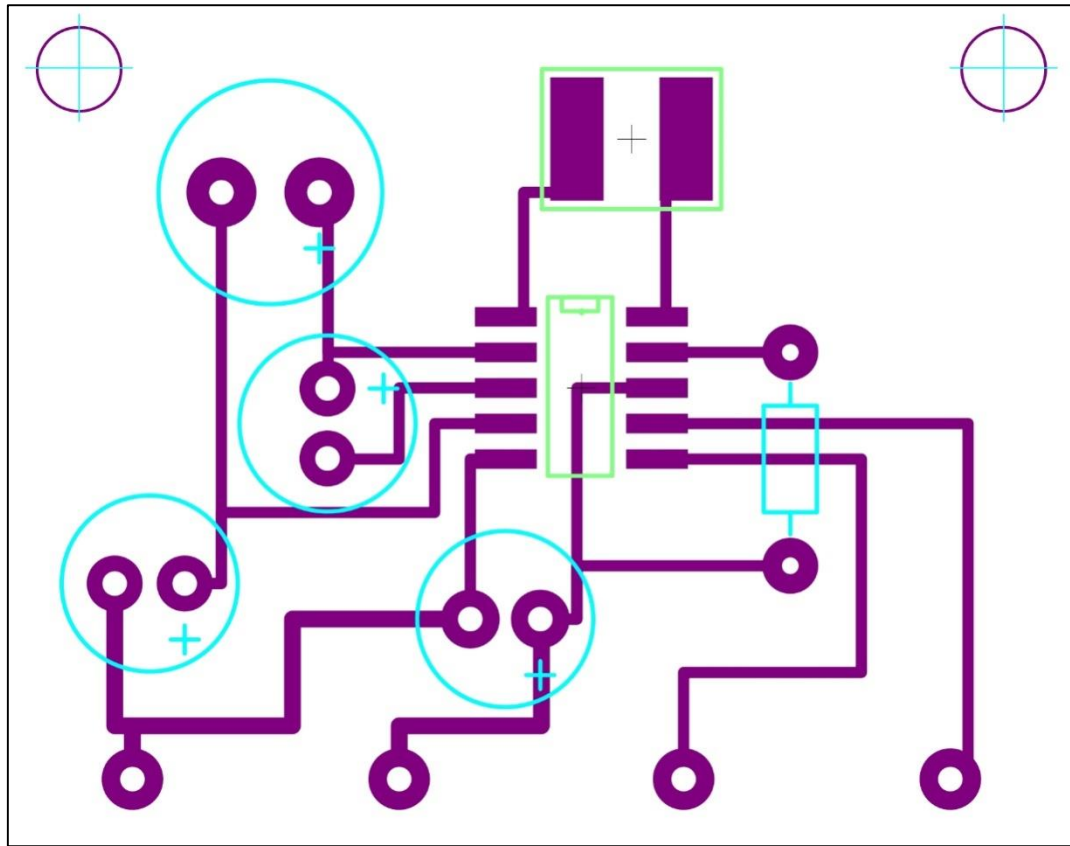


Рисунок 2.42– Топологія печатної плати пристрою збирача теплової енергії

Нанесення паяльної пасти у області контактних вікон проводиться через латунний трафарет завтовшки 0,4 мм за допомогою ракеля. Рекомендується застосовувати паяльну пасту марки ПЛ-112 АУКО.029.009Т. В'язкість цієї пасти дозволяє кріпити виведення компонентів до контактних вікон підкладки способом короткочасного притиснення. Температура плавлення пасти – 200 °С.

Оплавлення припою проводиться в конвекційній печі SX-2000 згідно температурному режиму, опис якого міститься в паспорті на компоненти.

Для резисторів і конденсаторів рекомендований режим паяння в конвекційній печі наступний:

- швидкість нагріву і охолодження 2-5 °С/с.;
- витримка при температурі 150 °С– 60 с;
- витримка при температурі 215 °С – 10 с.

Після паяння в конвекційній печі проводиться електричне тестування схем, при виявленні несправних компонентів, вони замінюються ручним способом (за допомогою мікропаяльника).

Розроблено конструкцію мікроелектромеханічного перетворювача вторинної енергії, що відрізняється від існуючих аналогів мембранною системою модуляції розподілу температури. Проведені мультифізичні дослідження показали, що вихідний струм перетворювача змінюється в межах від 4,4 пА до 0,7 нА з частотою від 22 Гц до 65 Гц. Встановлено, що параметри вихідного сигналу перетворювача залежить від температури нагрівача, матеріалу і розмірів піроелементів.

Розроблено схему накопичення енергії вихідного сигналу перетворювача, що у якості елемента збереження електричної енергії використовує суперконденсатор.

Дослідження розробленої схеми показали її працездатність у межах зміни вихідного сигналу перетворювача.

Розроблено печатну плату збирача вторинної енергії з габаритними розмірами 38x30x

### 3 Техніко – економічне обґрунтування виготовлення електронної схеми пристрою для мікроелектромеханічного збирача вторинної теплової енергії

#### 3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронної схеми пристрою для мікроелектромеханічної мембрани

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікроборок. Але у відмінності від стандартної технології у гібридного виконання всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення електронної схеми пристрою для мікроелектромеханічного збирача вторинної теплової енергії проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [1].

Таблиця 3.1 – Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
А	Напівпровідникових інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані на поверхні та в об'ємі загального кристала напівпровідника
В	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
С	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
Д	Тонкоплівкових гібридних мікроборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [1].

Таблиця 3.2 – Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага

5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
Σ							9,033	1,00

У матриці прийняті наступні позначення:  $i$  – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3)  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ; X<sub>i</sub>– локальний пріоритет, тобто відносна вага  $i$ -го критерію в глобальному критерії:

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 – 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то  $i = 1, 2, 3, 4$ .

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де  $\sum$  - сума по стовпці  $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$ .

Таблиця 3.4 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	1/5	3	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
	$\Sigma$				6,07	1,00

Таблиця 3.5 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29



D	3	7	3	1	2,20	0,41
$\Sigma$					5,37	1,00

Таблиця 3.6 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
$\Sigma$					6,41	1,00

Таблиця 3.7 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31

$\Sigma$	4,73	1,00
----------	------	------

Таблиця 3.8 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
	$\Sigma$				5,88	1,00

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
	$\Sigma$				5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10).[33]

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронної схеми пристрою з використанням технології тонкоплівкових гібридних мікроборок

Таблиця 3.10 – Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Напівпровідникових інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Тонкоплівкових гібридних мікроборки	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій виготовлення електронної схеми пристрою за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології напівпровідникових інтегральних схем. Проте найбільший глобальний пріоритет має технологія тонкоплівкових гібридних мікроборок. Саме вона й буде використовуватися для виготовлення електронної схеми блоку газорозрядної іонізації ексимерного лазера.

### 3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронної схеми пристрою для мікроелектромеханічного збирача вторинної теплової енергії

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 1901,20 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Алюміній	кг	0,1	24	2,4
Кремній	кг	0,1	150	15
Конденсатор	шт.	3	20	60
Суперконденсатор	шт.	1	46	46
Індуктивність	шт.	1	1,1	13,2
Інтегральний перетворювач LTC3588	шт	1	126	126
Разом				262,6

#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

##### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розробка збирача вторинної енергії виконувалось на персональних ЕОМ, що знаходяться у лабораторному приміщенні, де можливі такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори: поганий мікроклімат приміщення: підвищена і знижена температура повітря; надмірна запиленість повітря; підвищена і знижена вологість повітря; недостатня освітленість робочого місця; шум; підвищений рівень іонізуючого випромінювання; підвищений рівень електромагнітних полів;

підвищений рівень статичної електрики; небезпека ураження електричним струмом; бляклість екрану дисплея; Біологічні та хімічні шкідливі і небезпечні виробничі фактори при роботі в лабораторному приміщенні відсутні. До психофізичних факторів належать: розумова перенапруга, нервозність, монотонність праці.

Об'єм приміщення, не повинен бути менше  $19,5 \text{ м}^3/\text{людину}$  з урахуванням максимального числа одночасно працюючих.

Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані комп'ютери, приведені в табл. 3.1.

ЕОМ являє собою джерело електромагнітних і електростатичних полів, а також і рентгенівських випромінювань [32]. Електромагнітні поля, що характеризують напруженість електричних і магнітних полів шкідливо впливають на організм людини. Основним джерелом цих проблем, є дисплеї (монітори), особливо дисплеї з електронно-променевими трубками. Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що несприятливо впливають на здоров'я людини. Електромагнітне поле має електричну і магнітну складову. Вважається, що магнітна складова викликає більш негативну реакцію, ніж електрична.

Таблиця 4.1 – Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані ЕОМ

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата подаваного в приміщення свіжого повітря, $\text{м}^3$ /на одну людину в годину
об'єм до $20 \text{ м}^3$ на людину	не менш 30
об'єм до $40 \text{ м}^3$ на людину	не менш 20
об'єм більш $40 \text{ м}^3$ на людину	природна вентиляція

ЕОМ є джерелами таких випромінювань як:

- м'якого рентгенівського; ультрафіолетового 200 – 400 нм;
- видимого 400 – 00 нм;
- ближнього інфрачервоного 700 – 050 нм;
- радіочастотного 3 кГц – 30 МГц;
- електростатичних полів.

При експлуатації монітор комп'ютера випромінює м'яке рентгенівське випромінювання. Небезпека цього виду випромінювання пов'язана з його здатністю проникати в тіло людини на глибину 1–2 см і вражати поверхневий шкірний покрив.

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці біля комп'ютера зазвичай не перевищує 10 мкбер / год., а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрану монітора знаходиться в межах 10 ... 100 мВт/м<sup>2</sup>.

Ультрафіолетове випромінювання у великих дозах призводить до дерматиту шкіри, головний біль, різі в очах.

Інфрачервоне випромінювання призводить до перегріву тканин людини (особливо кришталика ока), підвищення температури тіла.

Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більше 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500В.

Також може виникнути небезпека за рівнями напруженості електромагнітного поля. На відстані 5–10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м за електричною складовою, що значно перевищує допустимі значення. Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора представлені в табл. 3.2 [32].

Таблиця 4.2 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Параметри	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітора	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітора	0.3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перебільшувати :	20 кВ/м
для дорослих користувачів	
для навчальних закладів	15 кВ/м

Персональні комп'ютери, друкуючі пристрої, обладнання для кондиціонування повітря, вентилятори систем охолодження і трансформатори в самих ПК є також джерелами шумів та вібрацій. У лабораторних приміщеннях освітніх установ, де розташовані ПК, рівні шуму та вібрації не повинні перевищувати допустимих значень, установлених діючими санітарно – епідеміологічними нормативами для житлових і громадських будівель.

Тривала дія шуму високої інтенсивності (вище 80 дБ) призводить до патологій слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Рівень шуму на робочому місці, при роботі за комп'ютером, не повинен перевищувати 50 дБ, а при наявності друкуючого пристрою не більш 75дБ.

Вібрація може викликати деякі професійні захворювання, при яких змінюються фізіологічні та психічні функції організму.

Т.ч., у лабораторному приміщенні при дослідницькій роботі на ЕОМ на людину впливають різні виробничі фактори, які в основному негативно впливають на її здоров'я і можуть викликати професійні захворювання [33].

#### 4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Оскільки екран монітора – це також джерело світла, при постійному зчитуванні інформації з нього відбувається швидке стомлення очей, особливо якщо яскравість свічення монітора встановлена занадто високою. Також подразнення очей викликає мерехтіння зображення на моніторі, викликані низькою частотою кадрової розгортки.

З метою зниження мерехтіння екрану рекомендується встановлювати частоту кадрів не менше 75 Гц для ЕЛТ – моніторів, та для ЖК – моніторів достатньою є мінімальна частота кадрів у 60 Гц.

Оскільки монітор ЕОМ є джерелом випромінювання електромагнітних та електростатичних полів, то при підвищеному рівні напруженості цих полів слід скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви протягом півтора годин роботи, обов'язково застосовувати захисні екрани, не розміщувати їх концентровано в робочій зоні і вимикати їх, якщо на них не працюють.

Для безпечної роботи на ПК необхідно перебувати на відстані не менше 50 см від екрана дисплея. Для зниження впливу всіх видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованого режиму праці та відпочинку. Разом з цим, потрібно встановлювати у лабораторному приміщенні, де знаходиться комп'ютер, іонізатори повітря, частіше провітрювати приміщення і хоча б один раз протягом робочого дня очищати екран від пилу.



Для запобігання утворення та захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття. Допустимі рівні напруженості електростатичних полів не повинні перевищувати 20 кВ протягом 1 години.

Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути фанеровані звукопоглинальними матеріалами, а також використовуються різні звукопоглинаючі пристрої. Зниження шуму в джерелі випромінювання можливо забезпечити застосуванням м'яких килимків з синтетичних матеріалів, а під ніжками столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми завтовшки 6-8 мм. До засобів індивідуального захисту відносяться протишумні навушники.

Рівень вібрації у лабораторному приміщенні може бути знижений шляхом встановлення устаткування на спеціальні віброізолятори. Раціональне планування приміщення і організація робочого місця, правильне розміщення обладнання також є важливим фактором, що дозволяє знизити шум і вібрацію.

Т. ч., для безпечної роботи людини, лабораторне приміщення, де знаходяться ЕОМ, повинно відповідати діючим санітарно – епідеміологічним нормам [32].

#### 4.3 Виробнича санітарія

Так як, робота з розробки датчика відбувається у лабораторному приміщенні, тому освітлення має наближатися до оптимальних умов зорового сонячного освітлення. Лабораторні приміщення, де розташовані комп'ютери повинні мати і природне і штучне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби. Природне

освітлення повинно здійснюватися через світлопроєми, орієнтовані переважно на північ і північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1.2% у зонах зі стійким сніжним покривом і 1.5% на решті території. Штучне освітлення у лабораторних приміщеннях експлуатації комп'ютерів повинно здійснюватися системою загального рівномірного освітлення. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типа ЛБ, або ДРЛ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями. Обмежити відображену бляклість на робочих поверхнях можна за рахунок правильного вибору типів світильників і розташування робочих місць по відношенню до джерел природного та штучного освітлення, при цьому яскравість відблисків на екрані не повинна перевищувати 40 кд/кв.м. і яскравість потоку, при зміні системи відбитого освітлення, не повинна перевищувати 200 кд/кв.м.

Вимоги до освітленості у лабораторних приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності становлять 200 лк і 300 лк відповідно. При цьому монітор і джерела світла повинні бути розташовані т. ч., щоб не створювати бліків на поверхні екрана. Крім того, все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога. Тому ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими, оскільки яскраве світло в районі периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності.

Одним із основних небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину під час роботи у лабораторному приміщенні є мікроклімат. ЕОМ є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. На робочому місці

користувача комп'ютеру повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до санітарно – епідеміологічних норм. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення.

Для створення і підтримки оптимального мікроклімату у лабораторному приміщенні, незалежно від зовнішніх умов у холодну пору року використовується водяне опалення, а в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер, за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

У приміщеннях з надлишком тепла необхідно передбачати регулювання подачі теплоносія для дотримання нормативних параметрів мікроклімату.

Так, оптимальна температура повітря у лабораторному приміщенні в теплу пору року повинна становити  $+22^{\circ}\text{C} \dots +24^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість – 40...60%, атмосферний тиск – 750 мм.рт.ст., швидкість руху повітря – 0,1 м/с.

Параметри мікроклімату для лабораторного приміщення з ЕОМ наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 4.3– Параметри мікроклімату для лабораторного приміщення з ЕОМ

Пора року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодна	температура повітря в приміщенні	22 – 24 °C
	відносна вологість	40 – 60 %
	швидкість руху повітря	до 0,1 м/с
Тепла	температура повітря в приміщенні	23 – 25 °C
	відносна вологість	40 – 60 %
	швидкість руху повітря	0,1 – 0,2 м/с

Повітря, що надходить у лабораторне приміщення, де розташовані ПК, повинно бути очищене від забруднень, в тому числі від пилу і мікроорганізмів. Патогенної мікрофлори бути не повинно. Кондиціонування повітря має забезпечувати підтримання параметрів мікроклімату в необхідних межах протягом всіх сезонів року, очищення повітря від пилу і шкідливих речовин, створення необхідного надлишкового тиску в чистих приміщеннях для виключення надходження неочищеного повітря. Температура подаваного повітря повинна бути не нижче 19°C. Температуру в приміщенні слід регулювати з урахуванням теплових потоків від обладнання.

Для лабораторного приміщення, де існує можливість природного провітрювання немає необхідності встановлювати приточно – витяжну вентиляцію, а доцільно використовувати кондиціонер спліт-системи, що працює на рециркуляційном повітрі.

Компресорно-конденсаторний блок такого кондиціонера встановлюється за межами приміщення на вулиці, а в приміщенні встановлюється внутрішній блок спліт-системи. Між собою внутрішній і зовнішній блоки зв'язані фреоновими трубопроводами в ізоляції.

Для вибору кондиціонеру по холодопродуктивності необхідно розрахувати теплонадлишки в приміщенні, площею  $S = 25 \text{ м}^2$ , висотою  $h = 3 \text{ м}$ , до яких входить тепло від людей, оргтехніки, освітлення та ін.

Так як в лабораторному приміщенні розташовані 3 комп'ютери і постійно працюють 3 людини теплонадходження можливо розрахувати:

$$Q_1 = S \cdot h \cdot q = 25 \cdot 3 \cdot 35 = 2625 \text{ Вт}; \quad (4.1)$$

$$Q_2 = 300 \cdot 3 = 900 \text{ Вт}; \quad (4.2)$$

$$Q_3 = 100 \cdot 3 = 300 \text{ Вт}; \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{общ}} = 2625 + 900 + 300 = 3825 \text{ Вт}. \quad (4.4)$$

Отже, модель кондиціонера спліт-системи вибираємо з типового ряду за найближчим (з урахуванням запасу) значенням холодопродуктивності.

Для забезпечення цілорічної роботи кондиціонера оптимальним є використання обладнання фірми Bork, тому що кондиціонери цієї фірми ефективно працюють в режимі «теплого насоса» в холодну пору року. Ряд технічних рішень, реалізованих у конструкції кондиціонерів Bork, забезпечує роботу при низьких температурах зовнішнього повітря (до  $t = -20^{\circ}\text{C}$ ).

У розглянутому лабораторному приміщенні немає фальш-стелі, тому немає можливості встановити спліт – систему прихованої установки. Тому було обрано модель Y701 настінного типу, так як по холодопродуктивності  $N_x = 4$  кВт – це найближче значення до розрахованих теплонадлишків приміщення.

Внутрішній блок кондиціонера встановлюємо на висоті  $h = 2.5$  м, тобто вище робочої зони приміщення. Зовнішній блок встановлюється на вулиці, на стіні під вікном, для зручного монтажу та обслуговування кондиціонера. Між внутрішнім і зовнішнім блоками встановлюються фреонові трубопроводи та електричний з'єднувальний кабель.

При роботі кондиціонера в режимі охолодження у внутрішньому блоці утворюється конденсат, тому необхідно передбачити відведення конденсату (дренажу) від внутрішнього блоку. Для підключення кондиціонеру спліт-системи до однофазної електромережі (220В, 50Гц) необхідно встановити для нього у розподільному щиту персональний автоматичний вимикач та прокласти трижильний кабель до місця встановлення кондиціонеру.

Для моделі Y701, споживана потужність якої 1.8 кВт, встановлюється однофазний автоматичний вимикач на 10А. Величина струму відсічки повинна встановлювати не менш 7-ми значень номінальних струмів [32].

Перелік використовуваного обладнання для створення мікроклімату у лабораторному приміщенні наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 4.4 – Перелік використовуваного обладнання лабораторного приміщення для монтажу кондиціонеру спліт-системи

Модель	Найменування обладнання	Кількість
Y701	Кондиціонери спліт – системи, Nхол=3.5 кВт, Nтеп=3.5 кВт (DELONGHI)	1
AP-24	з'єднувальні мідні трубки в ізоляції (1/4 «– 1/2»)	6 м
D-1	Дренажний трубопровід (гофрований)	6 м
ACF-023	Монтажний пристрій для зовнішнього блоку	1
K-4	Міжблочний електричний кабель (5x1.5 мм <sup>2</sup> )	7 м
K-3	Кабель електропідключення (3x1.5 мм <sup>2</sup> )	10 м
	Обігрівач дренажу	1
	Автоматичний вимикач (однофазний на 10А)	1

Т. ч., для забезпечення вентиляцій у лабораторному приміщенні, площею  $S = 25 \text{ м}^2$ , висотою  $h = 3 \text{ м}$ , де знаходяться 3 комп'ютери та 3 постійно працюючих людей достатньо буде встановити кондиціонер спліт-системи та рекомендується застосовувати природне провітрювання у теплу пору року.

#### 4.4 Електробезпека

На робочому місці користувача ЕОМ розміщені дисплей, клавіатура і системний блок. При включенні дисплея на електронно-променевої трубки створюється висока напруга в кілька кВ. Тому забороняється доторкатися до тильної сторони дисплея, витирати пил з комп'ютера при його включеному стані, працювати на комп'ютері у вологій одежі і вологими руками.

Перед початком роботи слід переконатися у відсутності висячих під столом проводів електроживлення, в цілісності вилок і дроту електроживлення, у відсутності видимих пошкоджень апаратури і робочих меблів, у відсутності пошкоджень.

Струми статичної електрики, які виникають в процесі роботи комп'ютера на корпусах монітора, системного блоку і клавіатури, можуть призводити до розрядів при дотику до цих елементів. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера. Для зниження величин струмів статичної електрики використовуються нейтралізатори, місцеве і загальне зволоження повітря, використання покриття підлог з антистатичним просоченням.

Так як, у лабораторному приміщенні для дослідницької роботи, окрім ЕОМ, розташована велика кількість електричного обладнання то його слід віднести до групи приміщень з підвищеною небезпекою [32].

#### 4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково має бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і вказує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у лабораторному приміщенні з ЕОМ є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, перфокарти і перфострічки, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання у лабораторному приміщенні можуть бути електричні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в

результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції.

Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості лабораторних приміщень встановлена категорія пожежної небезпеки В [32].

Евакуація із лабораторного приміщення, у разі надзвичайної ситуації, проводиться способом, який передбачає організоване виведення людей із приміщення через усі можливі виходи пішим ходом по заздалегідь розроблених маршрутах. У лабораторному приміщенні має бути присутній план евакуації та закріплена відповідальна особа за пожежну безпеку.



## Висновки та рекомендації

1. Аналіз побудови сучасних джерел не використаної енергії показав раціональність реалізації збирача вторинної енергії на основі термоелектричного перетворювача.
2. Розроблено конструкцію мікроелектромеханічного перетворювача вторинної енергії, що відрізняється від існуючих аналогів мембранною системою модуляції розподілу температури.
3. Показано, що вихідний струм перетворювача змінюється в межах від 4,4 пА до 0,7 нА з частотою від 22 Гц до 65 Гц.
4. Встановлено, що параметри вихідного сигналу перетворювача залежить від температури нагрівача, матеріалу і розмірів піроелементів.
5. Досліджено зміну температурних та механічних характеристик відносно зміни розмірів біморфної мембрани.
6. Розроблено схему накопичення енергії вихідного сигналу перетворювача, що у якості елемента збереження електричної енергії використовує суперконденсатор.
7. Дослідження розробленої схеми показали її працездатність у межах зміни вихідного сигналу перетворювача.
8. Розроблено печатну плату збирача вторинної енергії з габаритними розмірами 38x30x20 мм.
9. Результати роботи пройшли апробацію на трьох науково технічних конференціях [9, 23, 25].
10. Рекомендовано для подальших досліджень на базі кафедри мікроелектронних інформаційних систем.