

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Тепломасообмін в радіоелектронній апаратурі
телекомунікаційних систем»
Напрямок підготовки 0910 – “Електронні апарати”
Освітньо-кваліфікаційний рівень - спеціаліст 7.091004
“Технології та засоби телекомунікацій”

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Тепломасообмін в радіоелектронній апаратурі
телекомунікаційних систем»
Напрямок підготовки 0910 – “Електронні апарати”
Освітньо-кваліфікаційний рівень - спеціаліст 7.091004
“Технології та засоби телекомунікацій”

Вінниця
ВНТУ
2010

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №4 від 17.12.2009 р.)

Рецензенти:

Л. Г. Коваль, кандидат технічних наук доцент

К. В. Огороднік, кандидат технічних наук доцент

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Тепломасообмін в радіоелектронній апаратурі телекомунікаційних систем”, напрям підготовки – “Електронні апарати”, освітньо-кваліфікаційний рівень- спеціаліст “Технології та засоби телекомунікацій”. / Уклад. О. І. Нікольський – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 53с.

Розглянуті організаційні та методичні вимоги до виконання курсових робіт, наведена структура побудови пояснювальної записки та рекомендації до виконання графічної частини. Методичні вказівки призначені для студентів всіх форм навчання напряму підготовки – «Електронні апарати», освітньо-кваліфікаційний рівень - спеціаліст 7.091004 «Технології та засоби телекомунікацій».

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1 МЕТА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ	4
1.1 Порядок захисту курсової роботи	5
1.2 Методика розробки технічного завдання	6
1.3 Рекомендований зміст та приклад курсової роботи	7
Контрольні запитання до першого розділу	8
2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	9
2.1 Вибір методики розрахунку	9
2.1.1 Проведення теплового режиму радіоелектронної апаратури на ранніх стадіях проектування.....	9
2.1.2 Теплова проникність від радіоелектронного корпусу в навколишнє середовище.....	11
2.1.3 Вимушена повітряна вентиляція блока радіоелектронної апаратури.....	13
2.1.4 Методика розрахунку теплового режиму блока в герметичному корпусі	16
2.1.5 Розрахунок звичайного охолодження блока з перфорованим кожухом	18
2.1.6 Розрахунок теплового режиму світлового сигналізатора розряду елементів живлення.....	26
2.2 Моделювання плати за допомогою програми THERMAL DESKTOP ..	33
2.2.1 Опис програми THERMAL DESKTOP	33
2.2.2 Параметри плати, які використовуються при моделюванні з допомогою програми THERMAL DESKTOP.....	34
2.2.3 Моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі.....	35
2.2.4 Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою	36
2.2.5 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі.....	36
2.2.6 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі з граничною точкою	37
Висновки до курсової роботи	38
Контрольні запитання до другого розділу	39
Додаток А – Схема електрична принципова пристрою	41
Додаток Б – Перелік елементів	40
Додаток В – Складальне креслення.....	41
Додаток Г – Моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі	42
Додаток Д – Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою обдуву	44
Додаток Е - Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі	46
Додаток Ж - Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі з точкою обдуву	47
Список основних стандартів ЕСКД, необхідних для виконання курсової роботи	49
Глосарій.....	50
Література	52

ПЕРЕДМОВА

Явища теплообміну пов'язані з необоротний перенесенням енергії з однієї частини простору в іншу і викликані різницею температур, а явища масообміну – з переміщенням речовини з однієї частини простору в іншу і викликані різницею концентрацій. Якщо теплообмін і масообмін супроводжують один одного і їх розглядають у взаємозв'язку, то це називається тепломасообміном.

Розрізняють три види перенесення енергії у вигляді теплоти: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання. Теплопровідність – молекулярне перенесення теплоти в суцільному середовищі, викликане різницею температур.

Конвекція – процес перенесення теплоти при переміщенні макроскопічних об'ємів рідини або газу із області з однією температурою в область з іншою; при цьому перенесення теплоти нерозривно пов'язане з перенесенням речовини. Процеси конвекції супроводжуються теплопровідністю; цей процес називається конвективним теплообміном.

Теплове випромінювання – процес перенесення теплоти, обумовлений перетворенням внутрішньої енергії в енергію випромінювання, перенесенням її у вигляді електромагнітних хвиль.

Перенесення речовини відбувається за допомогою дифузії і конвективного масообміну. Дифузія – молекулярне перенесення речовини в середовищі, викликане різницею концентрацій, температур, тисків. Конвективний масообмін – перенесення речовини, викликане взаємною дією конвективного перенесення речовини і молекулярної дифузії.

1 МЕТА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Метою курсової роботи є засвоєння практичних навиків при розрахунках теплових процесів в електронній апаратурі, навиків роботи в пакеті Thermal Desktop, який забезпечує унікальну здатність виконувати термогідрравлічне моделювання, що показує розповсюдження тепла як у твердих тілах, так і в рідинах.

Курсова робота дозволяє провести оцінювання глибини отриманих студентом знань, його здатність до самостійної творчої роботи.

Вхідними даними для курсової роботи є схема електрична принципова, плата друкована та перелік елементів, що пропонується викладачем кожному студенту індивідуально. Не допускається однакових тем у поточкових групах. При узгодженні теми курсової роботи передбачається її розвиток у тему дипломного проекту. Теми курсових робіт затверджуються на засіданні кафедри. Назва теми та додаткові вихідні дані подаються у завданні (додаток А).

Курсова робота складається з розрахунково - пояснювальної записки, об'ємом 20-30 сторінок, і графічної частини (3 креслення у вигляді

плакатів чи додатків).

Основні розділи пояснювальної записки

Вступ

I. Вибір методів розрахунку.

1.1 Порядок теплового конструювання на ранніх етапах розробки

РЕА.

1.2 Теплове проектування РЕА.

1.3 Методика розрахунку теплового режиму блока в герметичному корпусі.

II. Тепловий розрахунок друкованої плати пристрою.

2.1 Розрахунок габаритних розмірів пристрою.

2.2 Розрахунок теплового режиму пристрою .

III. Моделювання друкованої плати за допомогою програми THERMAL DESKTOP.

3.1 Опис програми THERMAL DESKTOP.

3.2 Параметри плати, елементів і корпуса, які використовуються при моделюванні за допомогою програми THERMAL DESKTOP.

3.3 Результати моделювання.

Висновки

Перелік використаної літератури

Додаток 1

Додаток 2

Додаток 3

Крім наведених розділів до складу пояснювальної записки входять : зміст, вступ та посилання на літературу.

При оформленні пояснювальної записки необхідно користуватися вимогами ГОСТ 2.105-95.

В текстову частину „Вступу” пропонується вмістити такі питання:

- задача курсової роботи;
- мета даної розробки;
- доцільність проектування за технічними критеріями;
- порівняльна з аналогом характеристика методики розрахунку чи моделювання .

Графічна частина складається зі :

- схеми електричної принципової;
- складального креслення друкованої плати;
- переліку елементів;
- результатів моделювання: розрахунків теплового режиму пристрою, моделювання за допомогою програми THERMAL DESKTOP.

1.1 Порядок захисту курсової роботи

Захист є особливою формою перевірки виконання курсової роботи.

Ця процедура повинна привчити майбутнього інженера до публічного захисту прийнятих ним технічних рішень.

Готову і оформлену роботу потрібно здати на перевірку керівник не пізніше, ніж за три дні до захисту. Захист проводиться перед кафедральною комісією і складається з доповіді, з демонстрацією креслень протягом десяти хвилин і відповідей на запитання членів комісії. Доповідь повинна вміщувати: тему роботи, призначення пристрою, обґрунтування прийнятих рішень, результатів розрахунків, висновки.

Результати захисту оцінюють за дванадцятибальною шкалою та критеріями оцінювання, наведеними у додатку Б. Оцінка проставляється на титульній сторінці і затверджується підписами членів комісії.

1.2 Методика розробки технічного завдання

Технічне завдання є вхідним документом для розрахунку і моделювання теплових процесів пристрою і повинно бути розроблене у формі постановки задачі оптимізації конструкції.

Технічне завдання не повинно обмежувати ініціативу у виборі оптимального рішення, а розкривати перед конструктором багатогранні задачі, стимулювати комплексний, системний підхід до проектування.

Технічне завдання, в загальному випадку, повинно складатися із таких розділів: найменування й область застосування, технічні вимоги, експлуатаційні вимоги, вимоги до конструкції, вимоги до надійності, вимоги до уніфікації, вимоги до технологічності, вимоги до техніки безпеки, програма випуску, вимоги до живлення, вимоги до інтерфейсу [5.10].

Технічне завдання може розроблятися на основі результатів проведення НДР, аналізу передових досягнень технологічного рівня вітчизняної та іноземної техніки, патентних досліджень.

При виборі показників якості до технічного завдання доцільно користуватися державними та міждержавними стандартами на технічні вимоги до РЕА (ГОСТ 20.790-82, ГОСТ 11.478-88, ГОСТ 16.019-78, ГОСТ 22.261-94, ГОСТ 20.522-84).

Технічне завдання на проектування, розроблене студентом, повинно бути узгоджене з керівником.

1.3 Рекомендований зміст та приклад курсової роботи

Затверджено
на засіданні кафедри ПКТА
Зав. кафедрою _____ / Філінюк М. А. /
(підпис)

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсову роботу
з дисципліни Тепломасообмін в РЕА ТКС
Шифр і повна назва спеціальності
Студенту групи ТК-XX

Шифр групи, ініціали та прізвище

Тема курсової роботи: Моделювання теплових процесів друкованої плати

Вхідні дані:

- 1) розміри плати: 50×70 мм;
- 2) кількість елементів та їх потужність:
 - мікросхема: DA3 7805 – 1 шт, $P=1,4 \cdot 10^{-3}$ Вт;
 - резистори: C2-23-0.125–4 шт, C2-23-0.125–3шт; C2-23-0.125–1 шт;
 - транзистори: КТ315Б – 2 шт; КТ973Б – 1 шт.

Короткий зміст курсової роботи

1. Графічна схема електрична принципова для імпульсного зарядного пристрою, перелік елементів, складальне креслення
2. Текстова (пояснювальна записка) методики розрахунку теплового режиму блока радіоелектронної апаратури, розрахунок габаритних розмірів пристрою, розрахунок теплового режиму імпульсного зарядного пристрою

ЗАВДАННЯ

- розглянути основні методики розрахунку теплових режимів блока радіоелектронної апаратури;
- провести розрахунок теплового режиму пристрою з урахуванням розрахунку габаритних розмірів пристрою;
- провести моделювання теплового режиму пристрою за допомогою програми THERMAL DESKTOP

Дата попереднього захисту роботи _____

Завдання видав керівник роботи _____

Підпис _____ науковий ступінь, вчене звання, кафедра

_____ Ініціали та прізвище

“ ” _____ 2010р.

Завдання отримав студент _____

Підпис _____ Ініціали та прізвище

“ ” _____ 2010р.

Контрольні запитання до першого розділу

1. Яка мета даної курсової роботи?
2. Що є вхідними даними до курсової роботи?
3. Чи допускаються однакові теми в потокових групах?
4. З яких частин складається курсова робота?
5. Які розділи входять до складу пояснювальної записки?
6. З чого складається графічна частина?
7. В який термін здається готова і оформлена курсова робота керівникові на перевірку?
8. З чого складається захист курсової роботи?
9. Що повинна вміщувати доповідь?
10. З яких розділів складається технічне завдання?
11. Чи є обов'язковим узгодження технічного завдання з керівником?
12. При виборі показників якості до технічного завдання варто користуватись державними та міждержавними стандартами на технічні вимоги?

2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ

2.1 Вибір методики розрахунку

2.1.1 Проведення теплового режиму радіоелектронної апаратури на ранніх стадіях проектування

Одним з головних завдань проектування пристроїв РЕА є проведення *теплового аналізу* (thermoanalysis) електричних схем на етапах технічних пропозицій і ескізного проектування, коли конструкція апаратури ще не набула своїх реальних розмірів і форми. Уже на цих етапах необхідно прогнозувати перегрів як найбільш *теплонапружених* (high-beat), так і інших ЕРЕ. Це дозволить вчасно вибрати схему побудови системи забезпечення теплового режиму розроблювальної *апаратури* (equipment) в цілому і заздалегідь з врахуванням інших важливих факторів визначити розміри і масу конструкції.

Такий підхід до створення апаратури відповідає прийнятому порядку виконання дослідно-конструкторських робіт, однак багато в чому не відповідає побудові *блочно-ієрархічного* (block-hierarchical) принципу етапного моделювання, що пропонує розглядати тепловий режим апаратури з поступово наростаючим *ступенем* (stage, phase) деталізації від найбільших тіл (комплексів, блоків тощо) до окремих елементів електричних схем [1].

Виходячи з міркувань забезпечення надійної роботи пристрою, сформульовано такий порядок теплового проектування, якого доцільно дотримуватись на найбільш ранніх етапах розробки апаратури. Ці етапи включають час від технічних пропозицій до випуску ескізного проекту, що закінчуються розробкою в основному електричних схем апаратури і її складових частин і технічним завданням на розробку конструкторської документації [2-6].

Пропонований порядок теплового *конструювання* (construction, design) на ранніх етапах розробки РЕА:

- складання переліку найбільш потужних *термочутливих* (heat-sensitive) блоків або ЕРЕ пристрою, що входять у розроблювальну електричну схему, у яку повинні увійти всі відомі теплотехнічні параметри, – *розсіювана* ними *потужність* (dissipation), розміри блоків і площі *посадкових поверхонь* (landing surfaces);

- розробка елементарних теплових моделей (схем) конструктивних вузлів для кожного блока чи ЕРЕ до деякого відомого витоку тепла, виходячи з типових способів їх установаження і кріплення на платах, тепловідводах або елементах силової конструкції;

- розрахунки теплового режиму всіх блоків чи ЕРЕ, перерахованих у

переліку, попередньо задавши або визначивши фонову температуру навколишнього середовища або температуру витoku тепла в місці контакту з термостатною поверхнею, якщо вона задана в умовах експлуатації (external environment) апаратури;

- за результатами розрахунків визначають вузли з ЕРЕ з неприпустимими перегрівами і вводять, якщо це можливо, додаткові витoki тепла для їх зниження, а потім уточнюють попередні розрахунки;

- за результатами останніх розрахунків складають об'ємну картину місцевих перегрівів в апаратурі і намічають напрямок руху *теплових потоків* (heat current) від найбільш перегрітих вузлів (зон) до більш ефективних стоків конструкції апаратури;

- якщо цих конструктивних заходів недостатньо, то для локальних неприпустимо перегрітих зон з ЕРЕ проробляють вузли з додатковими витокami тепла, наприклад, зі стоками на силову конструкцію апаратури, тепловими трубами або тепловими *акумуляторами* (accumulator, battery);

- у процесі проведення теплових розрахунків окремих вузлів з ЕРЕ складається загальна тепла модель розроблювальної апаратури з обліком її теплової взаємодії з відсіком, складається її математичний опис і уточнюються вихідні дані з врахуванням взаємного *теплоперенесення* (heat transmission) між вузлами і зонами з ЕРЕ і *силової конструкції* (load-bearing unit) апаратури аж до стоків тепла в довкілля або кондуктивне теплоперенесення на посадкову поверхню і до вузлів кріплення до неї;

- за результатами аналізу проведених теплових розрахунків обирається схема побудови теплової моделі РЕА і складається технічне завдання на теплове конструювання апаратури одночасно з технічним завданням на розробку конструкторської документації в цілому.

2.1.2 Теплова проникність від радіоелектронного корпусу в навколишнє середовище

На основі теорії подібності узагальнено великий експериментальний матеріал із *теплообміну* (heat transfer) при вільній конвекції в необмеженому просторі. Відомий ряд залежностей для коефіцієнта тепловіддачі тіл з одним визначальним розміром (вертикальні плити, нескінченно довгі проволони, труби і кулі), широке поширення одержала формула [4]:

$$\text{Nu}_m = c(\text{Gr-Pr})_m^n, \quad (2.1)$$

де c і n - емпіричні коефіцієнти, а індекс m вказує на те, що значення фізичних параметрів $\alpha, \lambda, \nu, \beta$ газу або рідини варто вибирати для середньої температури t_m . Постійні c і n у формулі (2.1) залежать від *аргументу* (parameter) (Gr-Pr) .

У таблиці наведені фізичні параметри води, на *лінії насичення*, (saturation line) і *сухого повітря* (dry air) при тиску $p = 10^5$ Па [1].

Формула (2.1) отримана на підставі узагальнення дослідів, що проводилися в різних середовищах (повітря, водень, *вуглекислота* (carbonic acid), гліцерин, вода, різні олії та інші), з різноманітними об'єктами дослідження (горизонтальні і вертикальні дроти, труби, плити, кулі), розміри яких змінювалися в широких межах (від дротів з $d=1,5$ мм до куль з $d=16$ м).

З формули (2.1) можна одержати коефіцієнти тепловіддачі для типових випадків, що зустрічаються в електронних пристроях. При цьому приводяться часткові формули тільки для одного повітря; форма тіл обмежується плоскими, циліндричними і *сферичними* (spherical) поверхнями. Кожне тіло характеризується визначальним розміром L і орієнтацією поверхні в просторі, тобто коефіцієнтом N .

Якщо визначальний розмір L і різниця нерівності температур $t - t_c$ задовольняють нерівність:

$$(t - t_c) < [(840/(L \cdot 10^{-3}))]^3, \quad (2.2)$$

то розрахунок конвективного коефіцієнта тепловіддачі α_k потрібно проводити за формулою:

$$\alpha_k = (1,42 + 1,4 \times 10^{-3} t_m) \times N \times [(t - t_c)/L]^{1/4}. \quad (2.3)$$

Якщо нерівність (2.2) не виконується, то розрахунки слід проводити за формулою:

$$\alpha_k = (1,67 + 3,6 \times 10^{-3} t_m) \times N \times [(t - t_c)/L]^{1/3} \quad (2.4)$$

Початкові дані
розміри корпусу: довжина L_1 , ширина L_2 , висота h , температура середовища t_c , корпусу t_k .

В результаті різних розмірів верхньої, нижньої і бокових стінок корпусу теплообмін їх з навколишнім середовищем характеризується різною інтенсивністю:

$$\sigma_{kc} = \sigma_{kc1} + \sigma_{kc2} + \sigma_{kc3}, \quad (2.5)$$

де σ_{kc} - теплова провідність від верхньої ($i=1$), нижньої ($i=3$), бокової ($i=2$) поверхні корпусу до *середовища* (medium).

На основі залежності (2.5) σ_{kc} дорівнює сумі конвективної ($\sigma_{kc}i)_k$ і променевої ($\sigma_{kc}i)_l$ провідності; молекулярна провідність ($\sigma_{kc}i)_m$ в даному

випадку врахована в конвективній складовій:

$$\sigma_{kci} = (\sigma_{kci})_k + (\sigma_{kci})_l = (\alpha_{ik} + \alpha_{il}) \times A_i \quad (2.6)$$

де α_{ik}, α_{il} - коефіцієнти тепловіддачі конвекції і випромінення від поверхні i корпусу до середовища;

A_i – площі поверхонь i :

$$\begin{aligned} A_1 &= A_3 = L_1 L_2, \\ A_2 &= 2h (L_1 + L_2). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Якщо всі коефіцієнти покращені однаково і середовище не обмежене, то:

$$\alpha_{1l} = \alpha_{2l} = \alpha_{3l} = \alpha_l. \quad (2.8)$$

Величина α_l визначається за формулою:

$$\Phi_{ij} = \alpha_{lij} (t_i - t_j) \times A_i. \quad (2.9)$$

Конвективні коефіцієнти теплопередачі α_{ik} визначаються за формулами:

$$\alpha_k = (1,42 + 1,4 \times 10^{-3} t_m) \times N \times [(t - t_c)/L]^{1/4}, \quad (2.10)$$

$$\alpha_k = (1,67 + 3,6 \times 10^{-3} t_m) \times N \times [(t - t_c)/L]^{1/3}. \quad (2.11)$$

Повна теплова проникність:

$$\sigma_{kc} = (\alpha_{1k} + \alpha_l) \cdot A_1 + (\alpha_{2k} + \alpha_l) \cdot A_2 + (\alpha_{3k} + \alpha_l) \cdot A_3. \quad (2.12)$$

За формулою знаходимо:

$$\phi = (t_k - t_c) / F = \sigma_{kc} \cdot (t_k - t_c). \quad (2.13)$$

2.1.3 Вимушена повітряна вентиляція блока радіоелектронної апаратури

Подовжній рух потоку рідини. Нехай зовнішня поверхня тіла омивається потоком рідини, що має на віддалі від тіла швидкість ν . Існує три

режими руху рідини - ламінарний, перехідний і турбулентний.

Перехідний режим займає малу область, і розрахунки, як правило, ведуться на два режими руху рідини – *ламінарний* (streamline motion) і *турбулентний* (turbulent).

Коефіцієнт тепловіддачі при змушеному русі рідини подаються звичайно у вигляді залежності між числами Нуссельта Nu_f , Рейнольдса (Reynolds number, Reynolds' number) Re_f і Прандтля Pr_f або Pr_w :

$$\begin{aligned} Nu_f &= \alpha l / \lambda_f, \\ Re_f &= \upsilon l / \nu, \\ Pr_f &= \nu_f / \alpha_f, \\ Pr_w &= \nu_w / \alpha_w, \end{aligned} \tag{2.14}$$

де індекси f і w означають, що відповідні параметри розглядаються при температурах рідини t_f і стінки t_w ;

l – довжина тіла в напрямку потоку.

Перехід від ламінарного руху до турбулентного визначається критичним значенням числа $Re_{кр}$, що при подовжньому обтіканні плоскої стінки звичайно приймають $Re_{кр} = 5 \cdot 10^5$.

При ламінарному русі рідини, тобто $Re_f < 5 \cdot 10^5$, критеріальне рівняння для середнього коефіцієнта тепловіддачі має такий вигляд [4]:

$$Nu_f = 0,66 Re_f^{0,55} Pr_f^{0,43} (Pr_f / Pr_w)^{0,25}. \tag{2.15}$$

За визначальну температуру тут прийнята температура потоку, що набігає, t_f , за визначальний розмір - довжина тепловіддаючої стінки у напрямку потоку. Вплив фізичних властивостей рідини і їхня залежність від температури враховуються параметром $Pr_f^{0,43}$, а вплив напрямку теплового потоку (від рідини до стінки або навпаки) і рід рідини - параметром $(Pr_f / Pr_w)^{0,25}$, для газів цей параметр дорівнює одиниці. Параметри $\nu_f, \lambda_f, \alpha_f$ для води і повітря беруть із довідника даних, для інших видів рідин значення цих параметрів наведені в довідковій літературі [1-6].

Для повітря в широкому інтервалі температур (від 0 до 1000° С) можна вважати $Pr_f = Pr_w = 0,70, a(Pr_{fw})^{0,43}$ і тоді формула (2.2) набуває простого вигляду:

$$Nu_f = 0,57 \cdot \sqrt{Re_f}. \tag{2.16}$$

При значеннях Re , яке перевищує критичне або рівне йому $Re \geq 5 \cdot 10^5$, виникає турбулентний потік і критичне рівняння для середнього

коефіцієнта тепловіддачі має вигляд:

$$Nu_f = 0,037 \cdot Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} (Pr_f / Pr_w)^{0,25} \quad (2.17)$$

Це рівняння для повітря набуває більш простого вигляду:

$$Nu_f = 0,032 \cdot Re_f^{0,8} . \quad (2.18)$$

Наведені вище формули були одержані при дослідженні теплообміну пристрою, який омивається потоком рідини.

Розглянемо метод визначення коефіцієнта теплопередачі тіл різних форм, які омиваються поперечним потоком повітря. Для тіл різних конфігурацій доцільно ввести характерний розмір, що визначається за будь-яким єдиним принципом, а саме, як характерний розмір вибирається довжина обтікання l тіла потоком повітря. Довжина обтікання для циліндра і кулі складає:

$$l = 0,5 \cdot \pi \cdot d_d , \quad (2.19)$$

а для пластини – $l=l$.

В цьому випадку числа Рейнольдса і Нуссельта визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} Re' &= \upsilon l' / \upsilon_f , \\ Nu' &= \alpha \cdot i' / \lambda_f . \end{aligned} \quad (2.20)$$

При значеннях числа Рейнольдса $10 < Ke < 10^5$ рівняння для тепловіддачі тіл, обтікання поперечним потоком повітря, з помилкою не більше на 20%, може бути подано у вигляді:

$$Nu = 0,8 \cdot \sqrt{Re} . \quad (2.21)$$

Формулу можна використовувати також для оцінювання коефіцієнта теплопередачі тіл, які знаходяться у замкненому просторі, і тих, що омиваються *поперечним* (diametrical, transversal) потоком повітря [1]. Характерним розміром в цьому випадку також буде l , а швидкість руху повітря (air speed) біля тіла можна визначити за формулою:

$$\upsilon = Gv / A_{cp} . \quad (2.22)$$

де Gv - об'ємні витрати (volumetric loss) повітря, що протікають через обмежений простір;

A_{cp} - площа середнього потоку повітря, тобто середня площа періоду обмежена його корпусом.

Для електронних апаратів з хаотично розташованими деталями параметри A_{cp} і l можуть оцінюватись за формулами:

$$\begin{aligned} A_{cp} &= A_{an} \cdot (1 - V_d / V), \\ l' &= \sum_{j=1}^n l_j' \cdot A_i, \end{aligned} \quad (2.23)$$

де A_{an} – площа пустого корпусу апарата в напрямку, нормальному до потоку;

V і V_d – об'єм пустого корпусу і сумарний об'єм усіх деталей, шасі і інших твердих тіл у нагрітій зоні;

L_j A_j – довжина *траєкторії* (path, trajectory) потоку біля деталі і площа *тепловіддаючої* (heat-release) поверхні цієї деталі.

Початкові дані

розміри корпусу: довжина L_1 , ширина L_2 , висота h , діаметр і висота радіодеталей, відповідно d_d і h_d , розмір *шасі* (chassis, mounting): l_1 , l , $\sigma_{ш}$, масові витрати повітря через апарат G , температура повітря на вході в апарат $t_c = t_{вх}$.

Знайдемо коефіцієнти конвективної теплопередачі за формулою:

$$Nu = 0,8 \cdot \sqrt{Re}. \quad (2.24)$$

Дану формулу можна використовувати також для оцінки коефіцієнта теплопередачі тіл, які знаходяться в замкненому просторі і охолоджуються поперечним потоком повітря.

Теплова проникність визначається за формулою:

$$\sigma_{Af} = \alpha \cdot A_{Af}. \quad (2.25)$$

де A_{Af} – *площа поверхні* (surface area) теплообміну всіх деталей, що охолоджуються повітрям.

Площа поверхонь, які віддають тепло радіодеталей, розташованих в одному відсіку:

$$A_{df} = \sum_{j=1}^{m1} (\pi \cdot d_d \cdot h_d + \pi \cdot d_d^2 / 4). \quad (2.26)$$

Площа вільної поверхні шасі від радіодеталей:

$$A_{шf} = l_1 \cdot l_2 - m_1 \cdot \pi \cdot d_d^2 / 4. \quad (2.27)$$

Площа поверхонь нагрітої зони, які віддають тепло:

$$A_{Af1} = A_{Af2} = A_{Дf} + A_{Шf} . \quad (2.28)$$

Траєкторія потоку повітря вздовж поверхні радіодеталі:

$$l = 0,5 \cdot \pi \cdot d_{д} . \quad (2.29)$$

Коефіцієнт заповнення V_L / V пристрою.

Площа поперечного перерізу порожнього корпусу:

$$A_{an} = l_2(h - 2\sigma_k) . \quad (2.30)$$

Середня площа поперечного перерізу пристрою для вільного пропускання повітря визначається за формулою:

$$A_{cp} = A_{an} \cdot (1 - V_{д} / V) . \quad (2.31)$$

Визначимо коефіцієнт тепловіддачі нагрітої зони:

$$\alpha_{Af} = N_u \cdot \lambda_f / l . \quad (2.32)$$

Оскільки нагріта зона симетрична шасі, тоді:

$$\alpha_{Af1} = \alpha_{Af2} = \alpha_{Af} \quad (2.33)$$

2.1.4 Методика розрахунку теплового режиму блока в герметичному корпусі

Оскільки переважна більшість радіоелектронних пристроїв розміщені в закритих герметичних корпусах (перфорованих, з отворами для вентиляції, або звичайних), то для розрахунку теплового режиму роботи пристроїв користуються стандартними методиками, які потребують мінімум зусиль для отримання кінцевого результату. В основному віддають перевагу методиці, де, маючи габаритні розміри плат, несучих блоків та кожуха, необхідно знайти температури перегрівання робочої зони та кожуха (корпуса), або їх значення при заданій потужності пристрою (чи величині енергоспоживання).

Основними вимогами для використання таких методик теплового розрахунку є правильний вибір алгоритму обчислення температур перегрівання, а також деталізації розрахунку відносно кожного з елементів пристрою, - тобто, для яких елементів необхідно здійснювати розрахунок теплового режиму. Якщо метою розрахунку є визначення температур перегрі-

вання робочої зони та кожуха, то доцільно скористатися готовими програмами, які розміщені на сайті www.skr.radioman.ru.

По-перше, це дозволяє зекономити і час обчислень, і необхідність перевірки отриманого результату – адже в алгоритм програми закладено і задану точність, і неможливість помилки обчислення, що виникає під час розрахунків вручну.

По-друге, можна змінити лише умови використання пристрою (адже він може розміщуватися в різних природних зонах), залишивши незмінними габарити та інші дані, і в результаті отримаємо нові значення перегрівання блока.

Метою розрахунку є визначення температур нагрітої зони та середовища поблизу поверхні радіоелементів. Зазвичай розрахунки здійснюються для найбільш критичного елемента, тобто елемента, допустима температура якого має найменше значення серед усіх елементів, що входять до складу пристрою і утворюють нагріту зону.

Після введення необхідних величин у поля форми необхідно натиснути на кнопку , і у новій формі отримаємо результат обчислення температур перегрівання.

Оскільки є також пристрої, габаритні розміри яких досить істотні (вони можуть також складатися і з кількох блоків), то їх розміщують у корпуси, що мають додаткову перфорацію – елемент корпуса, що дозволяє отримати кращі тепло- і масообмінні властивості пристрою в цілому.

На цьому ж сайті подається форма, заповнивши яку, можна замінити обчислення вручну і для перфорованих корпусів. Як видно із рисунка, величини, значення яких необхідні, досить легко визначити із габаритних показників плат та корпуса пристрою [6-8].

Важливо знати і те, що найчастіше елементами, допустима температура яких є мінімальною, і саме вони є визначальними при розрахунках температур перегрівання чи інших теплових розрахунків, є напівпровідникові *транзистори* (transistor) та *мікросхеми* (integrated circuit). Причому мікросхеми, що служать *підсилювачами звукових частот* (acoustic amplifiers) чи потужностей сигналів – адже вони розміщуються завжди на радіаторах, бо виділення тепла під час їх роботи досить істотне.

Раніше обчислення здійснювали за складною методикою, що часто призводила до таких труднощів, як необхідність перерахунку з самого початку, бо в результаті отримували габаритні розміри радіаторів чи інших пристосувань для відведення тепла, які не задовольняють розробника. Тому зараз користуються готовими програмами, які дозволяють як моделювати режим роботи підсилювачів, так і обчислити розміри радіаторів для мікросхем та потужних транзисторів.

Одна із програм, що завжди доступна в мережі Internet – Audio Power Amplifiers Simulator, що розміщена в режимі on-line на сайті [7]. Все, що необхідно мати – це встановлену останню версію Java. А також знати параметри підсилювача, а саме – номінальну потужність, яку розвиває мікро-

схема. Далі із запропонованого списку, що додається до програми, обираємо аналог для нашої мікросхеми (або її саму, якщо ми використовуємо зарубіжні радіоелементи), і працюємо за певним алгоритмом.

2.1.5 Розрахунок звичайного охолодження блока з перфорованим кожухом

Еквівалентна схема теплових провідностей [9-12].

Розглянемо метод розрахунку температури нагрітої зони блока з перфорованим кожухом. Тепло розсіюється в навколишнє середовище шляхом конвекції та опроміненням зовнішньої поверхні кожуха, а також відбирається повітрям, яке протікає через блок. Рух повітря зумовлений різницею температур нагрітого і холодного об'ємів повітря, а з цього випливає, що і різницею тисків всередині і зовні блока. Повітря протікає в блок через нижні отвори кожуха, при цьому нагрівається, щільність його стає меншою. Піднімаючись вгору, повітря проходить через отвори шасі, потрапляє в верхню область і далі через отвори, які розміщені в верхній частині, виходить назовні.

Між потужністю, яка розсіюється в блоці, температурою окремих частин, геометричними і фізичними параметрами конструкції і умовами експлуатації повинна бути залежність. Задача полягає в тому, що треба знайти цю залежність.

Щоб спростити задачу зробимо ряд *припущень* (assumptions).

1. Будемо вважати, що нижня поверхня шасі ділить об'єм блока на дві рівні частини з температурами t_1 і t_2 , тому температура даної області не змінюється і дорівнює середньоарифметичному значенню температур вхідного і вихідного повітря:

$$t_1 = 0,5(t_c + t_{в.ш.}); \quad (2.34)$$

$$t_2 = 0,5(t_{в.ш.} + t_{вих}), \quad (2.35)$$

де t_1 – середня температура повітря в нижній області;

t_2 – середня температура повітря в верхній області;

$t_{в.ш.}$ – температура повітря поблизу нижньої поверхні шасі;

$t_{вих}$ – температура повітря, яке виходить із блока.

Це припущення зроблене для того, щоб температура повітря, яке протікає через даний об'єм, змінювалася лінійно.

2. Нагрівання повітря всередині блока здійснюється тільки за рахунок конвекції, для випроміненої енергії повітря прозоре, і його нагрівання за рахунок випромінення не відбувається.

3. Коефіцієнти теплопередачі всіх внутрішніх поверхонь будемо вважати однаковими.

4. Кожух і нагріту зону будемо вважати ізотермічними поверхнями.

З прийнятими припущеннями можливо виділити п'ять ізотермічних областей:

- 1) нагріту зону (t_3);
- 2) кожух (t_k);
- 3) повітря в нижній частині (t_1);
- 4) повітря в верхній частині (t_2);
- 5) навколишнє середовище (t_c).

Теплова потужність P , яка виділяється в нагрітій зоні, розсіюється трьома шляхами: конвективно передається кожуху в нижній і верхній частині блока і опроміненню – кожуху. Кожух зовнішньою поверхнею розсіює теплову енергію в навколишнє середовище конвекцією і опроміненню. З внутрішньої поверхні кожуха тепло конвекцією передається повітрю, яке протікає всередині блока. Сприйняте повітрям тепло йде на збільшення його теплоти, тому точки еквівалентної схеми з температурою t_1 і t_2 можна вважати стоками енергії з продуктивністю Q_1 і Q_2 .

Застосовуючи закон збереження енергії (law of conservation of energy, energy (conservation) law) до деяких процесів теплообміну РЕА з перфорованим кожухом, можна створити систему нерівностей, розв'язавши яку, знайдемо зв'язок між температурою окремих областей блока і фізичними, і геометричними параметрами конструкції.

Перше рівняння запишемо із вимоги, що теплова енергія, яка передається конвекцією до повітря від нижньої поверхні шасі і від нижньої частини кожуха, йде на збільшення тепла в повітрі:

$$Q_1 = \sigma_{31}(t_3 - t_1) + \sigma_{k1}(t_k - t_1), \quad (2.36)$$

або інакше –

$$\alpha S_{31}(t_3 - t_1) + \alpha S_{k1}(t_k - t_1) = 2Gc_p(t_1 - t_c), \quad (2.37)$$

де α – конвективний коефіцієнт теплопередачі всіх внутрішніх поверхонь блока;

S_{31} – площа реальної поверхні нагрітої зони нижньої області блока;

S_{k1} – площа поверхні області;

G – витрати повітря, яке протікає через нижню область 1, кг/с;

c_p – *питома теплоємність* (specific heat) повітря при постійному тиску, Дж/(кг К).

Права частина рівняння (2.37) записана на основі припущення 1. Зміна тепла в повітрі в нижній області пропорційна різниці температур $t_{e.ш.} - t_c$, яка з врахуванням рівняння (2.34) буде:

$$t_{e.ш.} - t_c = 2(t_1 - t_c). \quad (2.38)$$

В рівність (2.37) входять чотири невідомих: t_3, t_k, t_1, G .

Друге рівняння отримаємо з умови, що теплова енергія, яка передається конвекцією до повітря від верхньої поверхні шасі і від верхньої внутрішньої поверхні кожуха, йде на збільшення теплоємності повітря в області 2:

$$Q_2 = \sigma_{32}(t_3 - t_2) + \sigma_{k2}(t_k - t_2), \quad (2.39)$$

або

$$\alpha S_{32}(t_3 - t_2) + \alpha S_{k2}(t_k - t_2) = 2Gc_p(t_2 - 2t_1 + t_c), \quad (2.40)$$

де S_{32} – площа поверхні нагрітої зони в області 2;

S_{k2} – площа поверхні кожуха в верхній області.

Права частина рівняння (2.40) створена, виходячи з того, що зміна *теплоємності* (heat capacity) повітря в верхній області пропорційна різниці температур $t_{вих} - t_{в.ш.}$, яка з врахуванням рівняння (2.35) буде:

$$t_{вих} - t_{в.ш.} = 2(t_2 - t_{в.ш.}). \quad (2.41)$$

Із рівняння (2.38) випливає, що

$$t_{в.ш.} = 2t_1 - t_c, \quad (2.42)$$

тому

$$t_{вих} - t_{в.ш.} = 2(t_2 - 2t_1 + t_c). \quad (2.43)$$

В рівнянні (2.43) входить новий невідомий параметр t_2 .

Третє рівняння утворимо із умови, що потужність джерел тепла $P_{з.л.}(t_3, t_k)$ передається випромінюванням від нагрітої зони до кожуха. Від кожуха тепло $P_{з.л.}$ відводиться в двох напрямках: всередину блока, нагріваючи повітря, яке в ньому знаходиться шляхом конвекції, і в навколишнє середовище:

$$P_{з.л.} = P_k + \sigma_{k1}(t_k - t_1) + \sigma_{k2}(t_k - t_2), \quad (2.44)$$

або

$$P_{з.л.}(t_3, t_k) = P_k + \alpha S_{k1}(t_k - t_1) + \alpha S_{k2}(t_k - t_2). \quad (2.45)$$

Розрахунок $P_{з.л.}$ виконується за формулою:

$$P_{з.л.}(t_3, t_k) = \varepsilon_n f(t_3, t_k) (t_3 - t_k) \varphi_{з.к.} S_{з.л.} \quad (2.46)$$

де ε_n - наведений ступінь чорноти нагрітої зони і внутрішньої поверхні кожуха;

$S_{з.л.}$ - площа поверхні нагрітої зони;

$\varphi_{з.к.}$ - коефіцієнт взаємного опромінення нагрітої зони і внутрішньої поверхні кожуха; якщо знехтувати отворами в кожусі, то можна вважати, що $\varphi_{з.к.} = 1$.

Розрахунок P_k виконується за формулою $P_k = \sigma_k (t_k - t_c)$. Теплова провідність σ_k від кожуха до навколишнього середовища визначається виразом:

$$\sigma_k = \sum_i (\alpha_{ki} + \alpha_{ni}) S_{ki} \quad (2.47)$$

При розрахунку P_k кожух будемо вважати суцільним, тому:

$$\sum_i S_{ki} = S_k = S_{k1} + S_1 + S_{k2} + S_2, \quad (2.48)$$

де S_k - площа поверхні кожуха без врахування перфорації;

S_1 і S_2 - загальна площа отворів на кожусі, які розміщені відповідно нижче і вище шасі.

Збільшення розрахованої поверхні кожуха призводить до деяких неточностей в визначенні P_k . Однак помилка, яка при цьому з'являється, буде зменшена за рахунок того, що в виразі теплової провідності від нагрітої зони до кожуха коефіцієнт взаємного опромінення $\varphi_{з.к.} = 1$. При цьому в рівнянні (2.44) будуть однаково завищені значення $P_{з.л.}$ і P_k . Це припущення значно спрощує подальші розрахунки.

Четверте рівняння може бути виведене із умови загального теплового балансу. Повна потужність джерел енергії P , які розміщені в нагрітій зоні, розсіюється зовнішньою поверхнею кожуха, а частина тепла відводиться повітрям, яке проходить через блок, тому:

$$P = P_k + 2Gc_p(t_2 - t_1) \quad (2.49)$$

Другий доданок правої частини рівності (2.49) створено на підставі припущення 1. Теплова потужність, яка відводиться повітрям, яке протікає через блок, пропорційна різниці температур вхідного і вихідного повітря $t_{вих} - t_c$.

$$t_{вих} - t_c = 2(t_2 - t_1) \quad (2.50)$$

Система з чотирьох рівнянь (2.37), (2.40), (2.45) і (2.49) має п'ять невідомих: t_1 , t_2 , t_3 , G і t_k ; потужність джерел тепла задана.

Визначення витрат повітря через блок.

П'яте рівняння можна отримати, проаналізувавши умови теплообміну в блоці. Зв'язок між кількістю повітря G , яке протікає в одиницю часу через нижні отвори блока, площа яких S_1 , і різницею тисків ΔH_1 зовні і всередині блока на рівні нижніх отворів блока визначається за формулою:

$$G_1 = \mu_1 S_1 \sqrt{2g\rho_c \Delta H_1}, \quad (2.51)$$

де μ_1 - коефіцієнт витрат;

g – прискорення сили тяжіння;

ρ_c - щільність (density) повітря при температурі t_c .

Аналогічний вираз можна знайти для повітря, яке протікає в одиницю часу через отвори в шасі і в верхній частині кожуха:

$$G_u = \mu_u S_u \sqrt{2g\rho_1 \Delta H_u}; \quad (2.52)$$

$$G_2 = \mu_2 S_2 \sqrt{2g\rho_2 \Delta H_2}, \quad (2.53)$$

де μ_u , μ_2 - коефіцієнти витрат через отвори в шасі і в верхній частині кожуха, відповідно;

S_u – площа отворів в шасі;

S_2 – площа отворів в верхній частині кожуха;

ρ_1 , ρ_2 - щільність повітря при температурі t_1 і t_2 , відповідно;

ΔH_u - різниця тисків (pressure) повітря між верхньою і нижньою областями в районі шасі;

ΔH_2 - різниця тисків повітря зовні і всередині блока, на рівні верхньої частини отворів блока [1].

В режимі, який встановився, витрати повітря через будь-які отвори кожуха і шасі однакові:

$$G = G_1 = G_u = G_2. \quad (2.54)$$

За початковий рівень рахунку додавання приймається рівень, який проходить через середину отворів 1. Зовнішній збитковий тиск повітря відносно цього рівня $H_c = 0$, а всередині нижнього відсіку H_1 . Тоді тиск в нижній частині отворів блоку буде:

$$\Delta H_1 = H_c - H_1 = -H_1. \quad (2.55)$$

Тиск повітря всередині блока на рівні верхньої частини отворів бло-

ка відносно рівня відліку:

$$H_{2B} = H_1 - h_1\rho_1 - \Delta H_u - h_2\rho_2. \quad (2.56)$$

де h_1 і h_2 – відстань від шасі до середини відповідного отвору точки кожуха знизу і зверху.

Тиск повітря зовні блока на рівні отворів кожуха зверху:

$$H_{2c} = 0 - (h_1 + h_2)\rho_c = -(h_1 + h_2)\rho_c. \quad (2.57)$$

Тиск в отворі кожуха зверху:

$$\Delta H_2 = H_{2B} - H_{2c} = H_1 - \rho_1 h_1 - \Delta H_u - h_2\rho_2 + (h_1 + h_2)\rho_c. \quad (2.58)$$

Згрупуємо всі перепади тисків в ліву частину. З врахуванням того, що $H_1 = -\Delta H_1$, отримаємо:

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_u = (h_1 + h_2)\rho_c - h_1\rho_1 - h_2\rho_2. \quad (2.59)$$

Маса повітря, яке проходить в одиницю часу через нижні отвори шасі і верхні отвори, однакова, тому:

$$S_1\mu_1\sqrt{\rho_c\Delta H_1} = S_2\mu_2\sqrt{\rho_2\Delta H_2} = S_u\mu_u\sqrt{\rho_1\Delta H_u}. \quad (2.60)$$

Прирівнюючи попарно і підносячи до квадрата, отримаємо:

$$\Delta H_2 = \left(\frac{S_1\mu_1}{S_2\mu_2}\right)^2 \frac{\rho_c}{\rho_2} \Delta H_1; \quad \Delta H_u = \left(\frac{S_1\mu_1}{S_u\mu_u}\right)^2 \frac{\rho_c}{\rho_1} \Delta H_1. \quad (2.61)$$

Виразимо щільність повітря в області кожуха знизу і зверху через абсолютну температуру:

$$\rho_1 = \frac{T_c}{T_1} \rho_c; \quad \rho_2 = \frac{T_c}{T_2} \rho_c. \quad (2.62)$$

Підставимо ΔH_2 і ΔH_u в (2.63):

$$\Delta H_1 = \frac{T_c^2 \rho_c \left(\frac{h_1 + h_2}{T_c} - \frac{h_1}{T_1} - \frac{h_2}{T_2} \right)}{T_c + \left(\frac{S_1\mu_1}{S_2\mu_2} \right)^2 T_2 + \left(\frac{S_1\mu_1}{S_u\mu_u} \right)^2 T_1}. \quad (2.63)$$

Підставимо (2.63) в (2.51), отримаємо витрати повітря через блок:

$$G = G_1 = S_1 \mu_1 T_c \rho_c \sqrt{2g} \sqrt{\frac{\frac{h_1 + h_2}{T_c} - \frac{h_1}{T_1} - \frac{h_2}{T_2}}{T_c + \left(\frac{S_1 \mu_1}{S_2 \mu_2}\right)^2 T_2 + \left(\frac{S_1 \mu_1}{S_w \mu_w}\right)^2 T_1}}. \quad (2.64)$$

В результаті перетворення системи рівнянь отримаємо рівності для практичних розрахунків:

$$1) at_1^2 - \delta t_1 + b = 0; \quad (2.65)$$

$$\begin{aligned} a &= 2(S_{31} + S_{k1}) - \frac{S_{k1}}{S_{k2}}(S_{32} + S_{k2} - S_{31} - S_{k1}); \\ \delta &= \left(2 + \frac{S_{k1}}{S_{k2}}\right)A_1 + A_2 - D(S_{32} + S_{k2} - S_{31} - S_{k1}) + \left(S_{31} - \frac{S_{k1}}{S_{k2}}S_{32}\right)t_c; \\ b &= DA_1 + [A - (S_{32} + S_{k2})D]t_c; \\ A_1 &= S_{31}t_3 + S_{k1}t_k; \\ A_2 &= S_{32}t_3 + S_{k2}t_k; \\ A &= A_1 + A_2; \\ D &= \frac{S_k}{S_{k2}}t_k - \frac{\Delta P}{\alpha S_{k2}}; \\ \Delta P &= P_{3..л} - P_k; \end{aligned}$$

$$2) t_2 = D - \frac{S_{k1}}{S_{k2}}t_1; \quad (2.66)$$

$$3) t_k = \frac{1}{S_{k1}} \left[\frac{2c_p G}{\alpha} (t_1 - t_c) + (S_{31} + S_{k1})t_1 - S_{31}t_3 \right]. \quad (2.67)$$

Система рівнянь (2.64) – (2.67) дозволяє розрахувати теплові характеристики $t_3(P)$ і $t_k(P)$. Для цього необхідно знати витрати повітря G , коефіцієнт витрат μ і коефіцієнт тепловіддачі α , а також уточнити відстань h_1 і h_2 .

Коефіцієнт витрат μ залежить від конфігурації отворів, розмірів і типу жалюзі. В таблиці 1 наведені значення μ при різних величинах ширини жалюзі до довжини b/l і кутах відкриття β .

Таблиця 2.1 – Залежність коефіцієнта μ від b/l і β

β	Значення μ при b/l , яке дорівнює		
	1:3	1:2	1
15	0,27	0,23	0,18
30	0,43	0,39	0,33
45	0,54	0,50	0,45
60	0,60	0,56	0,54
90	0,64	0,62	0,62

Коефіцієнт тепловіддачі α всередині перфорованого корпусу приблизно може бути поданий як функція відношення G до маси повітря G_0 , яке заповнює блок при температурі t_c . [1]

Якщо перфораційних отворів в корпусі багато і вони розміщені на різній висоті від шасі, то параметри h_1 і h_2 знаходяться як середні відстані:

$$h_1 = \frac{\sum_{i=1}^n h_{1i} S_{1i}}{\sum_{i=1}^n S_{1i}}; \quad h_2 = \frac{\sum_{i=1}^n h_{2i} S_{2i}}{\sum_{i=1}^n S_{2i}}, \quad (2.68)$$

де $1i$ і $2i$ – номер отвору в нижній і верхній областях блока.

Методика розрахунку теплових характеристик блока

Наведемо послідовність розрахунку теплових характеристик.

1. За методикою, яка викладена вище, розраховують теплові характеристики досліджуваного блока, припускаючи, що кожух і шасі не мають перфорації.

2. Задаються температурою нагрітої зони t_3 і за допомогою теплових характеристик, які розраховані для герметичного кожуха, знаходять перегрів перфорованого кожуха:

$$(t_k - t_c)^I = 0,75(t_k - t_c)_G, \quad (2.69)$$

де $(t_k - t_c)_G$ - перегрів герметичного кожуха, який відповідає заданій середньоповерхневій температурі нагрітої зони t_3 .

3. Задаються коефіцієнтом тепловіддачі внутрішніх поверхонь блока α . Для розрахунку в першому наближенні рекомендується задаватися значенням α в межах 4 – 6 Вт/(м² К).

4. Розраховують потужність $P_{з.л.}$, яка розсіюється опроміненням з поверхні нагрітої зони; $\varphi_{з.л.} = 1$, а $\varepsilon_{п}$ знаходять з виразу:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_3} - \left(\frac{1}{\varepsilon_{к.в.}} - 1 \right) \frac{S_{3i}}{S_{ki}}} . \quad (2.70)$$

Якщо ступінь чорноти внутрішньої поверхні кожуха $\varepsilon_{к.в.}$ і нагрітої зони ε_3 не менше 0,75, то $\varepsilon_n \approx \varepsilon_{к.в.} \varepsilon_3$.

5. За допомогою рівнянь (2.64) – (2.66) знаходять параметри t_1^I, t_2^I, G^I в першому наближенні і уточнюють коефіцієнт α . При уточненому коефіцієнті тепловіддачі повторюється розрахунок в другому наближенні, при цьому задаються температурою кожуха $t_k^{II} = t_k^I$.

6. За формулою $P = P_k + 2Gc_p(t_2 - t_1)$ визначають величину P . Якщо в другому наближенні між заданою температурою кожуха t_k^{II} і температурою t_{k1}^{II} , яка розрахована за контрольною формулою (2.67), виникає розбіжність більше, ніж 5%, то проводять розрахунок в третьому наближенні, при цьому вибирають:

$$t_k^{III} = t_k^{II} - 0,1(t_{k1}^{II} - t_k^{II}). \quad (2.71)$$

Остаточні значення t_k і P визначаються за допомогою рівнянь:

$$\frac{t_k - t_k^{III}}{t_k - t_{k1}^{III}} = \frac{t_k^{II} - t_k^{III}}{t_{k1}^{II} - t_{k1}^{III}}; \quad (2.72)$$

$$P = P^{III} + \frac{t_k - t_k^{III}}{t_k^{II} - t_k^{III}} (P^{II} - P^{III}). \quad (2.73)$$

Похибка розрахунку перегріву ν за цією методикою складає 20%.

В результаті ще на стадії конструкторської розробки можна визначити температуру всередині блока. Якщо розрахована температура виявляється вища допустимої, то необхідно змінити конструкцію чи використати примусове охолодження.

2.1.6 Розрахунок теплового режиму світлового сигналізатора

розряду елементів живлення

Розрахунок габаритних розмірів пристрою.

Аналіз елементної бази.

Встановлювальні площі радіоелементів вказані в таблиці 2.1

Таблиця 2.2 – Параметри елементної бази

Назва елемента	Кіл., шт.	Площа встановлювальних елементів, мм ²	Робоча потужність, Вт	Потужність розсіювання, Вт
Резистори				
R1	1	20	0,003	0,0018
R2	1	63	0,000014	0,000009
R3	1	20	0,001	0,0006
R4	1	20	0,064	0,04
Світлодіоди				
HL1	1	19,625	0,073	0,044
Транзистори				
VT1	1	21,84	0,00004	0,000016
VT2	1	21,84	0,0012	0,0005

Визначення розмірів корпусу.

Визначаємо габаритні розміри плати за формулою:

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст.}} \times q \quad (q = 2 \dots 4), \quad (2.74)$$

де $\sum S_{\text{уст.}}$ – сума *встановлювальних площ* (locating pads) усіх радіоелементів, що знаходяться на платі;

q – коефіцієнт запасу.

Знаходимо $\sum S_{\text{уст.}}$, додавши дані з таблиці 2.1:

$$\sum S_{\text{уст.}} = 186,305 \text{ мм}^2 \approx 1,86 \text{ см}^2,$$

маємо орієнтовну площу плати:

$$S_{\text{плати}}^{\text{ор}} = 186 \times (2 \dots 4) = (372 \dots 744) \text{ мм}^2.$$

Найближчі стандартні розміри плати становлять 25×25 мм, при цьому площа плати буде:

$$S_{\text{плати}} = 625 \text{ мм}^2 = 6,25 \text{ см}^2.$$

Висота корпусу залежить від максимальної висоти радіокомпонентів, а також врахування товщини самої плати (1 мм) та методу паяння виводів елементів [5]. Оскільки застосовано односторонній монтаж, то довжина виводів радіоелементів, що припаяні, становить 1,5-2 мм, вони встановлені над платою на висоті 1 мм. Найвищим же елементом на друкованій платі є резистор СП5-2ВБ, тому:

$$h_{\text{плати з элем.}} = 4 + 10 = 14 \text{ мм.}$$

Габаритні розміри приладу визначаємо таким чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займає плата з радіо-

лементами (плюс певний запас).

Внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h + h_{\text{зап}} = 14 + 10 = 24$ мм;

б) довжина $a_{\text{вн}} = a_{\text{пл}} + a_{\text{зап}} = 25 + 10 = 35$ мм;

в) *ширина* (width) $b_{\text{вн}} = b_{\text{пл}} + b_{\text{зап}} = 25 + 10 = 35$ мм;

зовнішні габарити (з урахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 24 + 2 \times 1 = 26$ мм;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 35 + 2 = 37$ мм;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 35 + 2 = 37$ мм.

Внутрішній об'єм корпусу становитиме:

$$V_{\text{корп}}^{\text{вн}} = 2,4 \times 3,5 \times 3,5 = 29,4 \text{ см}^3.$$

Розрахунок теплового режиму пристрою.

Початкові дані досліджуваного пристрою:

– довжина $L_1 = 35$ мм;

– ширина $L_2 = 35$ мм;

– висота $L_3 = 24$ мм;

– *товщина стінок* (gauge) кожуха $\Delta = 1$ мм;

– ступінь чорноти внутрішньої і зовнішньої поверхонь $\varepsilon = 0,92$;

– споживана від мережі потужність $P = 0,45$ Вт.

Розрахунок здійснюватимемо в такому порядку.

Задаємо температуру перегрівання кожуха $\Delta t_{\text{к1}} = 10$ °С. Тоді температура кожуха становитиме:

$$t_{\text{к1}} = t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{к1}} = 25 + 10 = 35 \text{ °С.} \quad (2.75)$$

Знаходимо середню температуру:

$$t_{\text{м}} = 0,5(t_{\text{с}} + t_{\text{к1}}) = 0,5(25 + 35) = 30 \text{ °С.} \quad (2.76)$$

Визначаємо коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{\text{к}}$ для всіх поверхонь кожуха, причому за визначальний розмір обираємо висоту пристрою $L_3 = 24$ мм (оскільки плата в нас орієнтована у горизонтальній площині):

$$\alpha_{\text{к}} = 5,62 \cdot A(t_{\text{м}}) \cdot B, \quad (2.77)$$

де $A(t_{\text{м}})$ - параметр, що враховує фізичні властивості навколишнього середовища і визначається за графіком;

$$A(30^\circ) = 1,36 \cdot 10^{-4};$$

B – визначається за формулою 2.77:

$$B = [(t_{\text{к}} - t_{\text{с}})/L_3]^{\frac{1}{4}}, \quad (2.78)$$

$$B = [(35 - 25)/24]^{\frac{1}{4}} = 0.8 \text{ (град/мм)}$$

і у такому вигляді підставляється у формулу визначення коефіцієнта тепловіддачі (2.4).

$$\begin{aligned} \alpha_K &= 5,62 \cdot 1,36 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8 = 6,1 \cdot 10^{-4} \text{ (Вт/см}^2 \cdot \text{град)} \\ &= 6,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град} \end{aligned}$$

Тоді коефіцієнти тепловіддачі для верхньої, нижньої і бокової поверхонь кожуха:

$$\alpha_{KB} = 1,3\alpha_K = 1,3 \cdot 6,1 = 7,93 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}; \quad (2.79)$$

$$\alpha_{KH} = 0,7\alpha_K = 0,7 \cdot 6,1 = 4,27 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}; \quad (2.80)$$

$$\alpha_{KB} = \alpha_K = 6,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (2.81)$$

Знаходимо значення коефіцієнта випромінення кожуха α_L :

$$\alpha_L = \frac{5,673 \cdot \left[\left(\frac{T_K}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_C}{100} \right)^4 \right]}{t_K - T_C} \quad (2.82)$$

$$\alpha_L = \frac{5,673 \cdot \left[\left(\frac{308}{100} \right)^4 - \left(\frac{298}{100} \right)^4 \right]}{35 - 25} = 6,3 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}$$

$$\alpha_L = 6,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Конвективна складова теплової провідності:

$$\sigma_K = \alpha_{KB} \cdot S_B + \alpha_{KH} \cdot S_H + \alpha_{KB} \cdot S_B, \quad (2.83)$$

де площі верхньої, нижньої і бокової поверхонь кожуха:

$$\begin{aligned} S_B &= 35 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 0,001225 \text{ м}^2; \\ S_H &= 35 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 0,001225 \text{ м}^2; \\ S_B &= (35 + 35) \cdot 2 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 0,00336 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Маємо:

$$\begin{aligned} \sigma_K &= 7,93 \cdot 0,001225 + 4,27 \cdot 0,001225 + 6,1 \cdot 0,00336 = 0,00971425 + \\ &+ 0,00523075 + 0,020496 = 0,035441 \text{ (Вт/град)}. \end{aligned}$$

Промениста складова теплової провідності:

$$\sigma_L = \alpha_L \cdot \varepsilon \cdot (S_B + S_H + S_B) \quad (2.84)$$

$$\sigma_L = 6,3 \cdot 0,92 \cdot (0,001225 + 0,001225 + 0,00336) = 0,03367476 \text{ (Вт/град)}.$$

Сумарна теплова провідність:

$$\sigma_{\text{КОЖ}} = \sigma_{\text{К}} + \sigma_{\text{Л}} \quad (2.85)$$

$$\sigma_{\text{КОЖ}} = 0,035441 + 0,03367476 = 0,06911576 \text{ (Вт/град)}.$$

Визначаємо теплову провідність від умовно нагрітої зони до кожуха (лінійні розміри в міліметрах):

$$\sigma_3 = 22 \cdot (L_1 - 2\Delta) \cdot (L_2 - 2\Delta) \cdot 10^{-3} \quad (2.86)$$

$$\sigma_3 = 22 \cdot (35 - 2) \cdot (35 - 2) \cdot 10^{-3} = 23,958 \text{ Вт/град}.$$

Температура нагрітої зони:

$$t_3 = t_{\text{C}} + \Delta t_{\text{К1}} \left(1 + \frac{\sigma_{\text{КОЖ}}}{\sigma_3}\right) = 25 + 10 \cdot \left(1 + \frac{0,069}{23,958}\right) = 35,02658 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.87)$$

Розсіювана у блоці при перегріванні $\Delta t_{\text{К1}}$ потужність:

$$P_1 = \sigma_{\text{КОЖ}}(t_{\text{К1}} - t_{\text{C}}) = 0,069(35 - 25) = 0,69 \text{ Вт}. \quad (2.88)$$

Отже, при $P_1 = 0,69$ Вт маємо значення $t_3 = 35,02658$ $^\circ\text{C}$, $t_{\text{К1}} = 35$ $^\circ\text{C}$.

Тепер задаємо перегрівання кожуха $\Delta t_{\text{К2}} = 20$ $^\circ\text{C}$. Тоді температура кожуха становитиме:

$$t_{\text{К2}} = t_{\text{C}} + \Delta t_{\text{К2}} = 25 + 20 = 45 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Знаходимо середню температуру:

$$t_{\text{m}} = 0,5(t_{\text{C}} + t_{\text{К1}}) = 0,5(25 + 45) = 35 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Визначаємо коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{\text{К}}$ для всіх поверхонь кожуха:

$$\alpha_{\text{К}} = 5,62 \cdot A(t_{\text{m}}) \cdot B$$

де $A(t_{\text{m}})$ - параметр, що враховує фізичні властивості навколишнього середовища і визначається за графіком, $A(35^\circ) = 1,33 \cdot 10^{-4}$;

B – визначається за формулою 2.4:

$$B = [(45 - 25)/24]^{\frac{1}{4}} = 0,96 \text{ (град/мм)}.$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{К}} &= 5,62 \cdot 1,33 \cdot 10^{-4} \cdot 0,96 = 7,14 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \cdot \text{град}\right) \\ &= 7,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град} \end{aligned}$$

Коефіцієнти тепловіддачі для верхньої, нижньої і бокової поверхонь кожуха:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{КВ}} &= 1,3\alpha_{\text{К}} = 9,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}; \\ \alpha_{\text{КН}} &= 0,7\alpha_{\text{К}} = 5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}; \\ \alpha_{\text{КБ}} &= \alpha_{\text{К}} = 7,14 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \end{aligned}$$

Знаходимо значення коефіцієнта випромінення кожуха $\alpha_{\text{Л}}$ за формулою (2.9):

$$\alpha_{\text{Л}} = \frac{5,673 \cdot \left[\left(\frac{318}{100}\right)^4 - \left(\frac{298}{100}\right)^4\right]}{45 - 25} = 6,64 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Конвективна складова теплової провідності:

$$\sigma_K = 9,3 \cdot 0,001225 + 5 \cdot 0,001225 + 7,14 \cdot 0,00336 = 0,041508 \text{ (Вт/град)}.$$

Промениста складова теплової провідності:

$$\begin{aligned} \sigma_L &= 6,64 \cdot 0,92 \cdot (0,001225 + 0,001225 + 0,00336) = \\ &= 0,035492 \text{ (Вт/град)}. \end{aligned}$$

Сумарна теплова провідність:

$$\sigma_{КОЖ} = \sigma_K + \sigma_L = 0,041508 + 0,035492 = 0,077 \text{ Вт/град}.$$

Температура нагрітої зони:

$$t_3 = t_C + \Delta t_{K2} \left(1 + \frac{\sigma_{КОЖ}}{\sigma_3}\right) = 25 + 20 \cdot \left(1 + \frac{0,077}{23,958}\right) = 45,06428 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Розсіювана у блоці при перегріванні Δt_{K2} потужність:

$$P_2 = \sigma_{КОЖ}(t_{K2} - t_C) = 0,077(45 - 25) = 1,54 \text{ Вт}.$$

Отже, при $P_2 = 1,54$ Вт маємо значення $t_3 = 45,06428$ °C, $t_{K2} = 45$ °C.

Будуємо графік залежності температур кожуха та нагрітої зони від розсіюваної потужності:

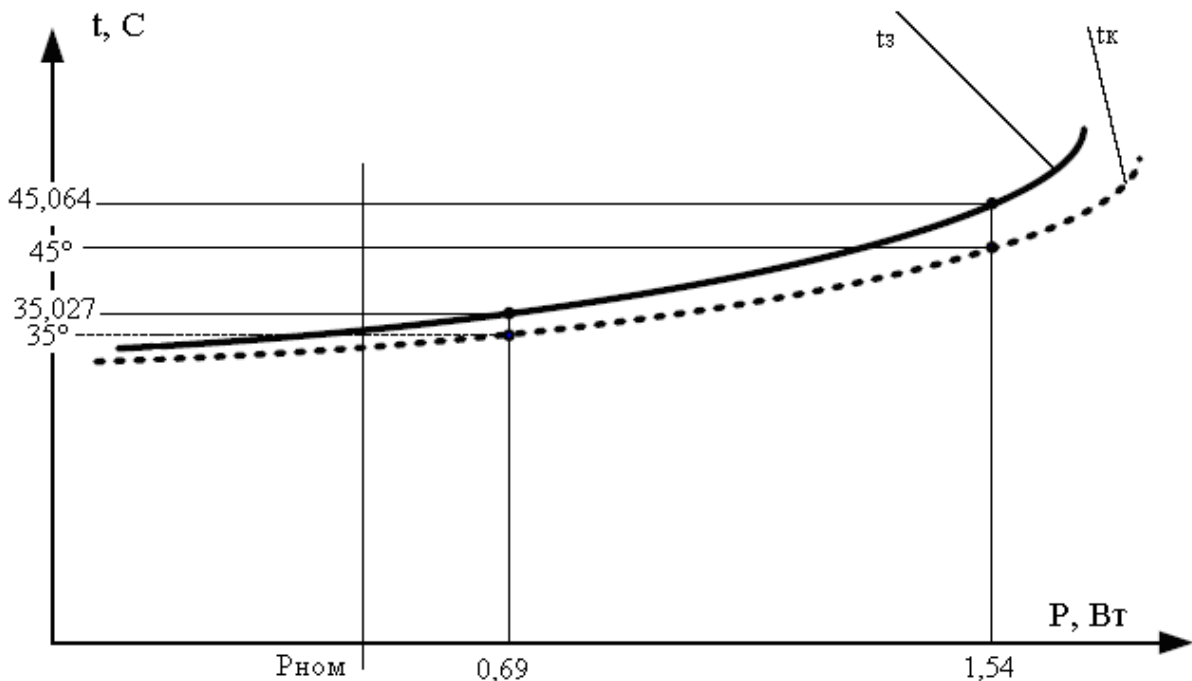


Рисунок 2.1 – Графік залежності температур кожуха t_K та нагрітої зони t_3 від розсіюваної потужності P

За графіком (рисунок 2.1) для споживаної від мережі потужності $P = P_{ном} = 0,45$ Вт значення температур нагрітої зони та кожуха становлять:

$$t_3 \approx 34,9 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{K2} \approx 34,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Отже, ми бачимо, що при перегріванні кожуха на $\Delta t_{K1} = 10$ °C значення розсіюваної потужності становитиме $P_1 = 0,69$ Вт, при якій маємо значення температури нагрітої зони $t_3 = 35,02658$ °C і температури кожуха $t_{K1} = 35$ °C.

А при перегріванні кожуха на $\Delta t_{k2} = 20$ °С значення розсіюваної потужності становитиме $P_2 = 1,54$ Вт , при якій маємо значення температури нагрітої зони $t_3 = 45,06428$ °С і температури кожуха $t_{k2} = 45$ °С.

2.2 Моделювання плати за допомогою програми THERMAL DESKTOP

2.2.1 Опис програми THERMAL DESKTOP

В даній курсовій роботі проводимо моделювання схеми «Світловий сигналізатор розряду елементів живлення». Для цього ми використовуємо програму THERMAL DESKTOP 4.8.

Програма THERMAL DESKTOP 4.8 є пакетною програмою та складається з набору декількох програм, які можна використовувати як комплексно, так і поодиноці.

SINDA/FLUINT широко використовувалася для теплового моделювання електронної апаратури в *аерокосмічній промисловості* (aerospace industry) протягом минулих двох десятиліть. Програма FLUINT розширює можливості даного продукту, додаючи їй різні функції для моделювання теплових процесів.

Програма FloCAD розширює можливості SINDA/FLUINT, додаючи методи 3D CAD для моделювання повітряного охолодження і теплової поведінки електронних замикань, друкованих плат ПК, тепла, що виділяється, і електронних стендів. Програма FLOCAD допомагає більш точно будувати та встановлювати друковані плати різного типу та складові елементи даних плат.

Даний набір програм забезпечує унікальну здатність виконувати *термогідравлічне* (thermo-hydraulic) моделювання, що показує розповсюдження тепла як у твердих тілах, так і в рідинах. У багатьох випадках дані програми забезпечують значну економію часу та коштів на проведення аналізу процесів порівняно з аналізом CFD. Зручний інтерфейс забезпечує користувачу високу швидкість моделювання потрібних блоків та гнучкість у підборі параметрів елементів, а також *оптимізацію* (refinement, refining) блоків за різними параметрами та інші режими, які мають відношення до *надійності* (reliability) елементів, які розробляються. Користувач може моделювати також труби, насоси, проходи, клапани, *фільтри* (filters; sifters), а також інші системи з цих елементів. Користувач може також вибирати різні рідини для моделювання з бази даних [1], закладеної в програмі, або самостійно створювати потрібні рідини, задаючи їх властивості.

Основні характеристики THERMAL DESKTOP 4.8:

- невисокої вартості модель та якісна програма для моделювання в порівнянні з програмою моделювання повітряного охолодження для електронної апаратури типу CFD;

- повний набір параметрів для легкої зміни моделі, що розробляється;
- дозволяє моделювати як в 1D так і в 2D та 3D режимах;
- програма дозволяє легко змінювати вхідні дані, оптимізуючи пристрій, що розробляється, а також легко контролювати його.

2.2.2 Параметри плати, які використовуються при моделюванні з допомогою програми THERMAL DESKTOP

Запишемо геометричні розміри елементів плати, розраховані у попередньому розділі розміри плати в цілому і корпуса у зведену таблицю, причому використовуємо такі розміри елементів, які б вони мали при спрощенні їх до простих форм (куб, циліндр, паралелепіпед та ін.)

Таблиця 2.3 – Геометричні розміри елементів плати

Назва елемента	Довжина (висота)		Ширина (радіус)		Висота підняття над платою (товщина)		Розсіювана потужність, Вт	
	мм	дюйми	мм	дюйми	мм	дюйми		
Корпус	37	1,48	24	0,96	2	0,08	-	
Плата	35	1,4	35	1,4	2	0,08	-	
Резистори	6	0,24	1	0,04	1,5	0,06	R1	0.0018
							R3	0.0006
							R4	0.04
Підстроювальний резистор	10	0,4	6,3	0,25	5,5	0,08	0.000009	
Світлодіод	4,7	0,188	2,6	0,104	1	0,08	0,044	
Транзистори	5,2	0,208	2,5	0,1	2	0,08	VT1	0,000016
							VT2	0,0005

Будуємо плату розмірами 35×35 мм. Плата виготовлена з матеріалу 2 oz соррег. Корпус, в якому розміщуватиметься плата, виготовлений з алюмінію. Резистори, світлодіоди в даному випадку є вуглецевими, транзистори – кремнієві. Для них ми з довідників вибираємо значення провідності, теплоти випромінювання і густини, які потрібні для теплового моделювання. Ці дані знаходяться в таблиці 2.2.

Таблиця 2.4 – Значення провідності, теплоти випромінювання і густини елементів схеми

Елементи	Провідність, k, W/(m/K)	Теплота випромінювання, ϵ_p , J/(kg/K)	Густина, rho, Kg/m ³
Корпус	237	900	2700
Плата	17.7	0	0
Резистори	165	500	2500
Підстроювальний резистор	165	500	2500
Транзистори	150	1000	1740
Світлодіод	165	100	2000

2.2.3 Моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі

1. Задаємо термофізичні властивості елементів конструкції (плати і частини корпусу) у THERMAL DESKTOP, користуючись даними рис. 2.2.

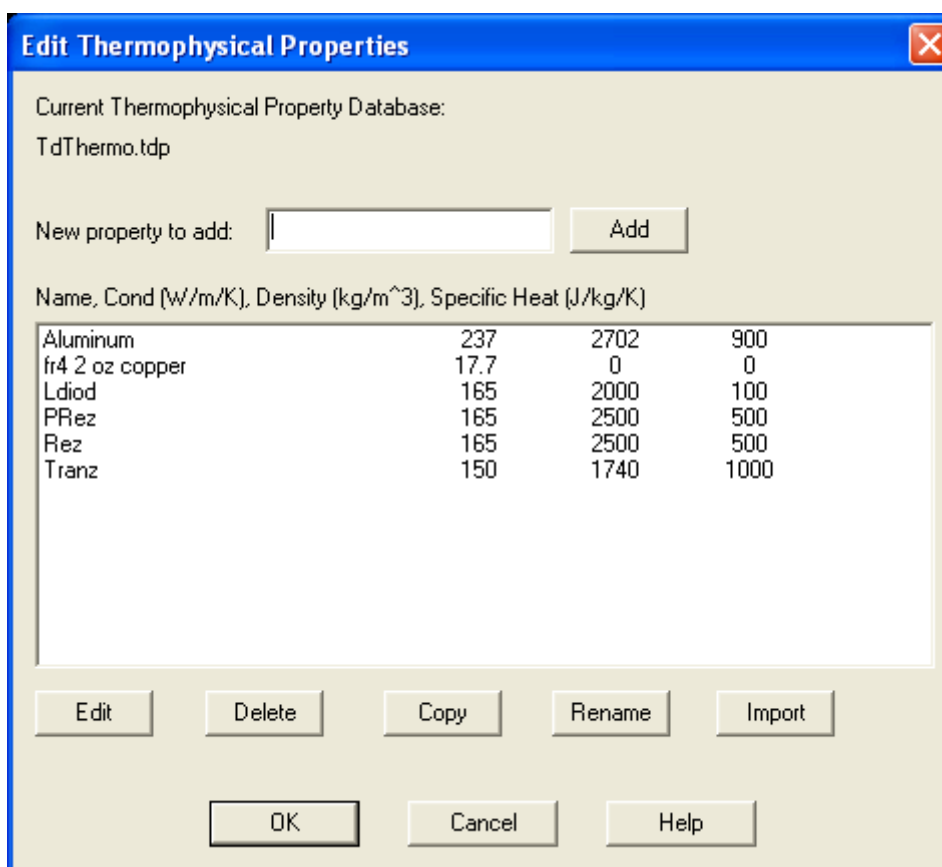


Рисунок 2.2 – Таблиця термофізичних параметрів матеріалів складових пристрою

2. Здійснюємо вибір одиниці вимірювання. Обираємо для будування моделі дюйми.

3. Будуємо алюмінієву пластину, яка виконуватиме функцію частини корпусу. Називаємо субмодель Main і під'єднуємо її властивості: Aluminum.

4. Будуємо плату за розрахованими розмірами на рівні, який залежить від висоти найвищого елемента:

$24 \text{ мм} \setminus \text{висота корпусу} \setminus - (1 \text{ мм} \setminus \text{товщина стінок} \setminus + 5 \text{ мм} \setminus \text{запас з однієї сторони} \setminus + 10 \text{ мм} \setminus \text{висота найвищого елемента} \setminus) = 8 \text{ мм} = 0,32 \text{ дюймів}$

Називаємо субмодель Board і закріплюємо за нею відповідні параметри: fr4 2 oz copper. Здійснюємо прикріплення плати до алюмінієвої кришки.

5. Будуємо на платі світлодіод, використовуючи спрощену модель його форми у вигляді повнотілого вертикального (залежить від встановлення) циліндра. За його розміри приймаємо реальні розміри світлодіода, що відповідають його типу у дюймах.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: Ldiode

Підіймаємо субмодель над платою. Це здійснюємо з урахуванням можливого існування прокладок між корпусом елемента і платою чи простору, утвореного висотою виводів. В даному випадку підіймаємо світлодіод і інші елементи на величину $1 \text{ мм} = 0,04 \text{ дюйма}$. Величина переміщення над платою загалом залежатиме від вказівок по монтажу.

Під'єднуємо світлодіод до плати.

Змінюємо геометричну модель світлодіода на температурну.

6. Будуємо на платі резистори, використовуючи форму повнотілого горизонтального циліндра.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: Rez.

Підіймаємо субмодель над платою на висоту, що дорівнює половині суми товщини субмоделі і товщини плати: $(0,08 \text{ дюйма} \setminus \text{діаметр резистора} \setminus + 0,04 \text{ дюйма} \setminus \text{товщина плати} \setminus) / 2 = 0,06 \text{ дюймів}$.

Під'єднуємо резистор до плати.

Змінюємо геометричну модель резистора на температурну.

Для двох інших резисторів цього типу здійснюємо аналогічні операції.

7. Будуємо на платі підстроювальний резистор, використовуючи форму повнотілого горизонтального циліндра.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: PRez.

Підіймаємо субмодель над платою на висоту $0,04 \text{ дюйма}$.

Під'єднуємо підстроювальний резистор до плати.

Змінюємо геометричну модель резистора на температурну.

8. Будуємо на платі транзистори, використовуючи форму повнотілого вертикального циліндра.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: Tranz.

Підіймаємо субмодель над платою на висоту $0,04 \text{ дюймів}$.

Під'єднуємо транзистор до плати.

Змінюємо геометричну модель транзистора на температурну.

Для другого транзистора здійснюємо аналогічні операції.

Модель пристрою, утворена таким чином, прийме вигляд, як на рис.

Г.1 (Додаток Г).

9. Здійснимо моделювання теплових процесів в платі. Задаємося часом моделювання – 100 с. Програма здійснює відповідні розрахунки за введеними даними і формує зображення температурного тону пристрою в динамічному режимі, рисунок Г.2 (Додаток Г). Програма дозволяє показати нагрівання плати також у вигляді графіків залежності температури від часу, рисунок Г.3 (Додаток Г).

З рисунку Г.4 (Додаток Г), який показує нагрівання елементної бази, видно, що найбільше нагріваються світлодіод і резистор, які мають порівняно велику потужність розсіювання і матеріал їх виготовлення сприяє цьому. Оскільки пристрій малопотужний, то інші елементи практично не нагріваються.

2.2.4 Моделювання теплових процесів пристрою з граничною

точкою

1. Створимо граничну точку (точку обдуву), наприклад, на рівні закінчення плати на висоті, що приблизно дорівнює половині висоти найвищого елемента: (0.74,0.52,1.44). Дана точка буде представляти навколишнє середовище з властивою йому температурою та впливати на модель пристрою так, як це робило б навколишнє середовище.

2. Надамо граничній точці характеристики повітря. Задаємося температурою навколишнього середовища, яке представлятиме дана точка: 298К.

3. Створимо провідники між зовнішнім середовищем та пристроєм. Новостворені провідники матимуть вигляд променів, як це показано на рисунку Д.5 (Додаток Д). Вимкнемо провідники для зменшення завантаження екрану.

4. Запустимо моделювання, що продемонструє вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі (рисунок Д.6) (Додаток Д).

5. Отримаємо також графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати – рисунок Д.7 і для елементної бази – рисунок Д.8 (Додаток Д).

2.2.5 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі

1. Видалимо точку обдуву і помістимо плату до корпусу, який буде з того ж матеріалу, з якого була пластина, до якої кріпилася плата.

2. Приєднаємо плату до новоствореного корпусу. Утворена модель буде мати вигляд, як на рис. Е.9 (Додаток Е).

3. Здійснимо моделювання. Результат зображено на рис. Е.10 та у вигляді графіків на рис. Е.11 та рис. Е.12 (Додаток Е).

2.2.6 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі з граничною точкою

1. Створимо точку обдуву в довільному місці пристрою, наприклад, як у даному випадку, біля найбільш нагрітого елемента. Задамо ті ж параметри, що були при моделюванні з точкою обдуву без корпусу. Провідники між пристроєм і середовищем показано на рис. Ж.13 (Додаток Ж).

2. Запустимо моделювання, його результати показано на рис. Ж.14 (Додаток Ж) і у вигляді графіків на рис. Ж.15, рис. Ж.16 (Додаток Ж).

Висновки до курсової роботи

В першій частині даної курсової роботи ми провели огляд різних методик розрахунків теплового режиму: розрахунок теплової проникності від радіоелектронного корпусу в навколишнє середовище, розрахунок вимушеної повітряної вентиляції блока радіоелектронної апаратури, розрахунок звичайного охолодження блока з перфорованим кожухом та розрахунок теплового режиму блока в герметичному корпусі.

Розглянувши дані методики, ми вибрали для розрахунку теплового режиму світлового сигналізатора розряду елементів живлення скорочену методику для герметичного корпусу, оскільки дана друкована плата знаходиться в корпусі.

В другій частині курсової роботи провели розрахунок габаритних розмірів даного пристрою, провели аналіз елементної бази даної схеми, вибрали елементи, які розсіюють тепло, а також провели розрахунок теплового режиму даного пристрою для двох випадків: при температурі перегріву кожуха $\Delta tK_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ і при температурі перегріву $\Delta tK_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Провівши розрахунки, побачили, що для цих двох різних температур перегріву потужність розсіювання відрізняється більш, ніж в два рази, оскільки потужність розсіювання в першому випадку становить $P_1 = 0,69 \text{ Вт}$, а в другому $P_2 = 1,54 \text{ Вт}$.

В третій частині ми провели моделювання теплових процесів, які відбуваються на платі з врахуванням активних елементів.

З результатів моделювання видно, що в корпусі певні елементи нагріваються трохи менше, ніж без корпусу. Це пояснюється тим, що стінки корпусу забирають тепло.

Для зменшення температури елементів і плати в корпусі можна поставити радіатор в тому місці, де плата нагрівається найбільше.

Результати моделювання не збігаються з результатами розрахунку. При моделюванні ми отримали менші температури, ніж при розрахунку. Це можна пояснити тим, що при моделюванні можливе виникнення певних похибок. При розрахунку ми не враховуємо зміну властивостей кожного елемента в реальних умовах. А при моделюванні всі моделі є ідеальними, тому необхідно при дослідженні теплового режиму керуватися розрахунковими значеннями, а не результатами моделювання.

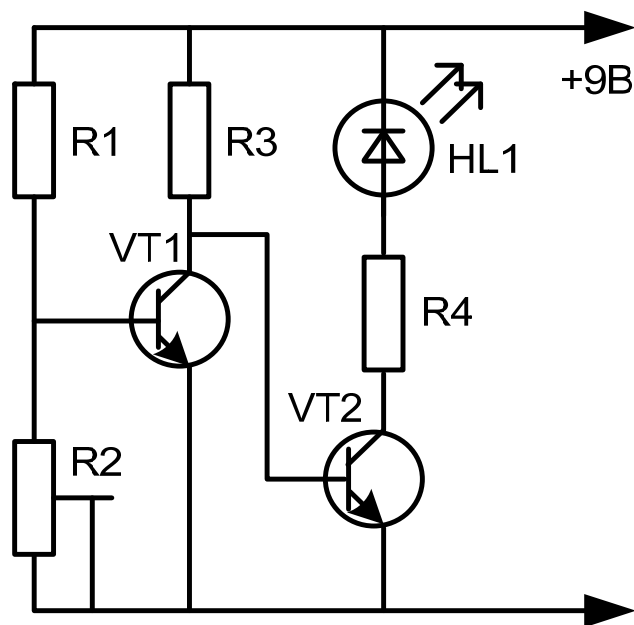
Але і при розрахунках можуть виникати похибки, які пов'язані з тим, що не враховується багато інших факторів (наприклад, тиск, вологість та ін.).

Контрольні запитання до другого розділу

1. Який порядок теплового конструювання на ранніх етапах розробки РЕА?
2. Як розраховується конвективний коефіцієнт тепловіддачі?
3. Чим представляється коефіцієнт тепловіддачі при змушеному русі рідини?
4. Чим визначається перехід від ламінарного руху до турбулентного?
5. За якою формулою розраховується теплова проникність?
6. Які основні вимоги для використання методик розрахунку теплового режиму блока в герметичному корпусі?
7. Розкажіть про метод розрахунку температури нагрітої зони блока з перфорованим кожухом.
8. Як визначається теплова провідність від кожуха до навколишнього середовища?
9. Як проводиться методика розрахунку теплових характеристик блока?
10. Розкажіть про розрахунок габаритних розмірів пристрою.
11. Як визначити габаритні розміри плати?
12. Розкажіть про розрахунок теплового режиму пристрою.
13. Як розраховується значення коефіцієнта випромінювання кожуха?
14. Як знаходиться теплова провідність від умовно нагрітої зони до кожуха?
15. Як знаходиться значення розсіюваної потужності у блоці при перегріванні?
16. Побудуйте графік залежності температур кожуха та нагрітої зони від розсіюваної потужності.
17. Опишіть програму, за допомогою якої здійснюється моделювання плати.
18. Вкажіть основні характеристики програми THERMAL DESKTOP .
19. Які параметри плати використовуються при моделюванні з допомогою програми THERMAL DESKTOP?
20. Як проводиться моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі?
21. Як проводиться моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою?
22. Як проводиться моделювання теплових процесів пристрою в корпусі?

Додаток А

Схема електрична принципова пристрою «Світловий сигналізатор розряду елементів живлення»



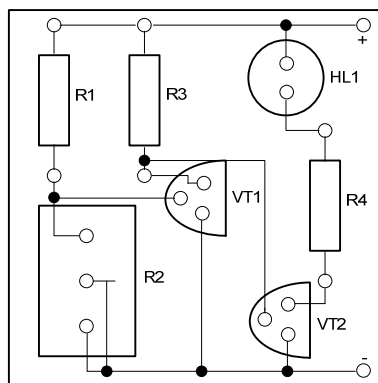
Додаток Б

Перелік елементів

Назви елементів	Тип	Кількість	Позначення
Резистори	C2-23-0.125	3	R1, R3, R4
Підстроювальний резистор	СП5-2ВБ	1	R2
Світлодіод	АЛ307	1	HL1
Транзистори	КТ3102А	1	VT1, VT2

Додаток В

Складальне креслення (Масштаб 1:2)



Додаток Г
Моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі

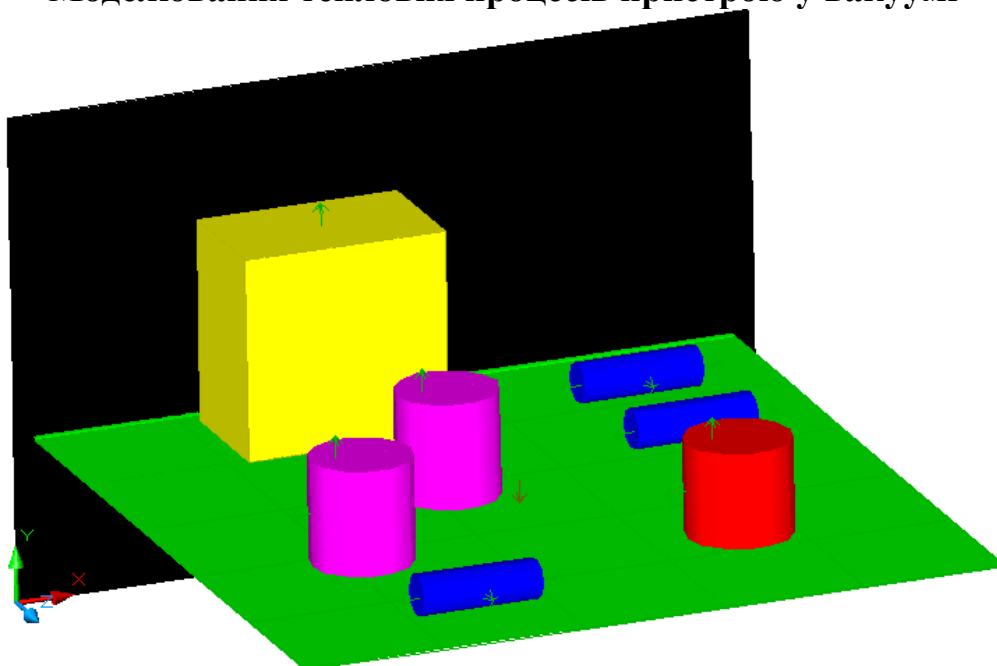


Рисунок Г. 1 – Модель світлового індикатора в THERMAL DESKTOP

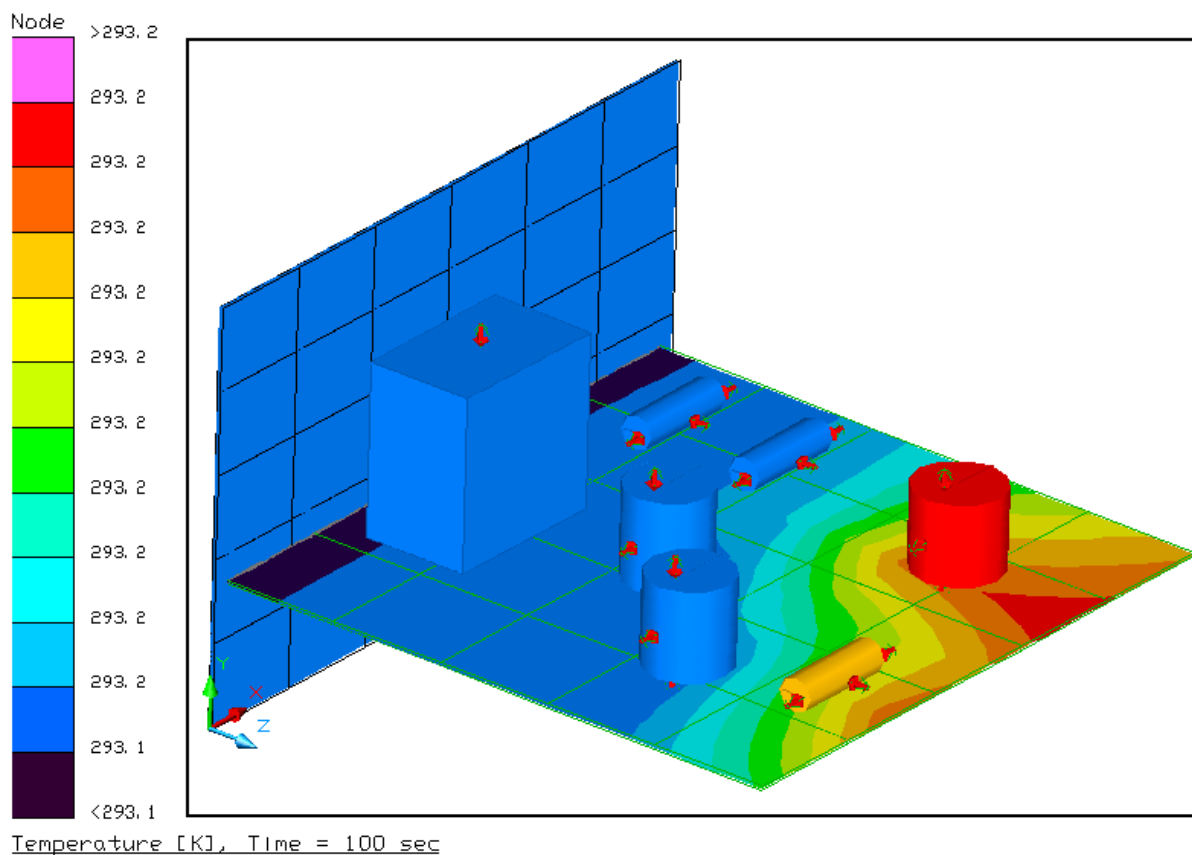


Рисунок Г. 2 – Зміна температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі

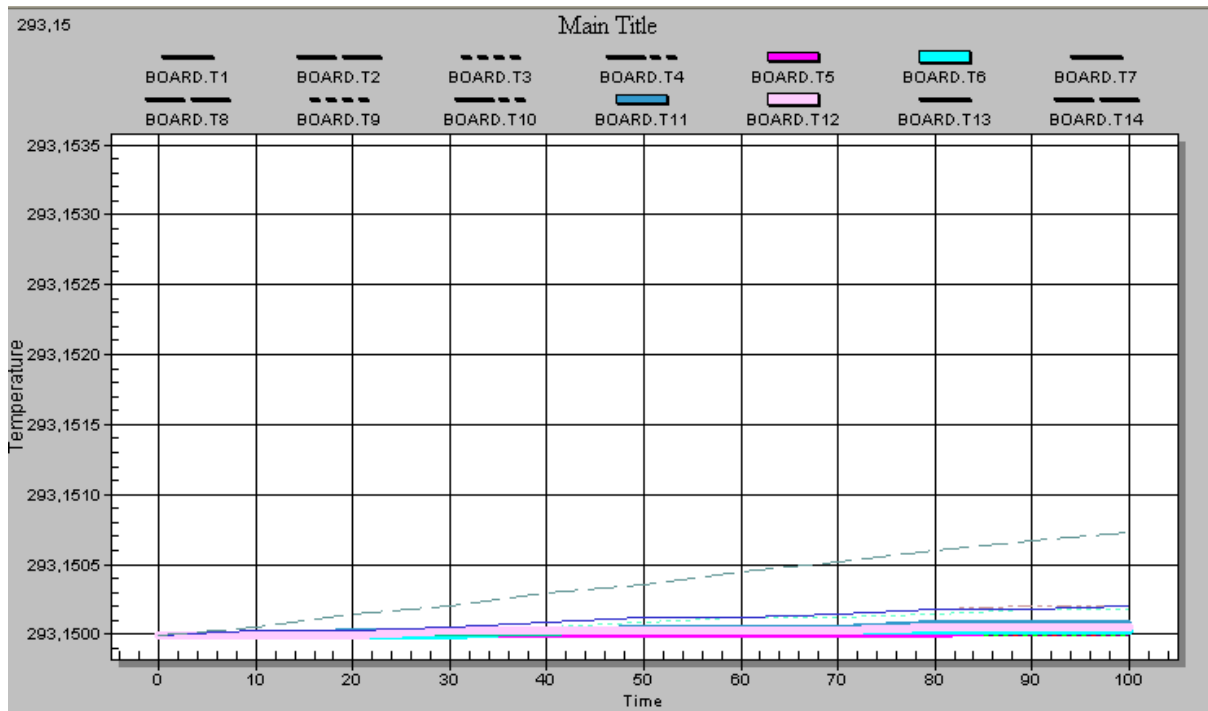


Рисунок Г. 3 – Графіки залежності температури від часу для плати

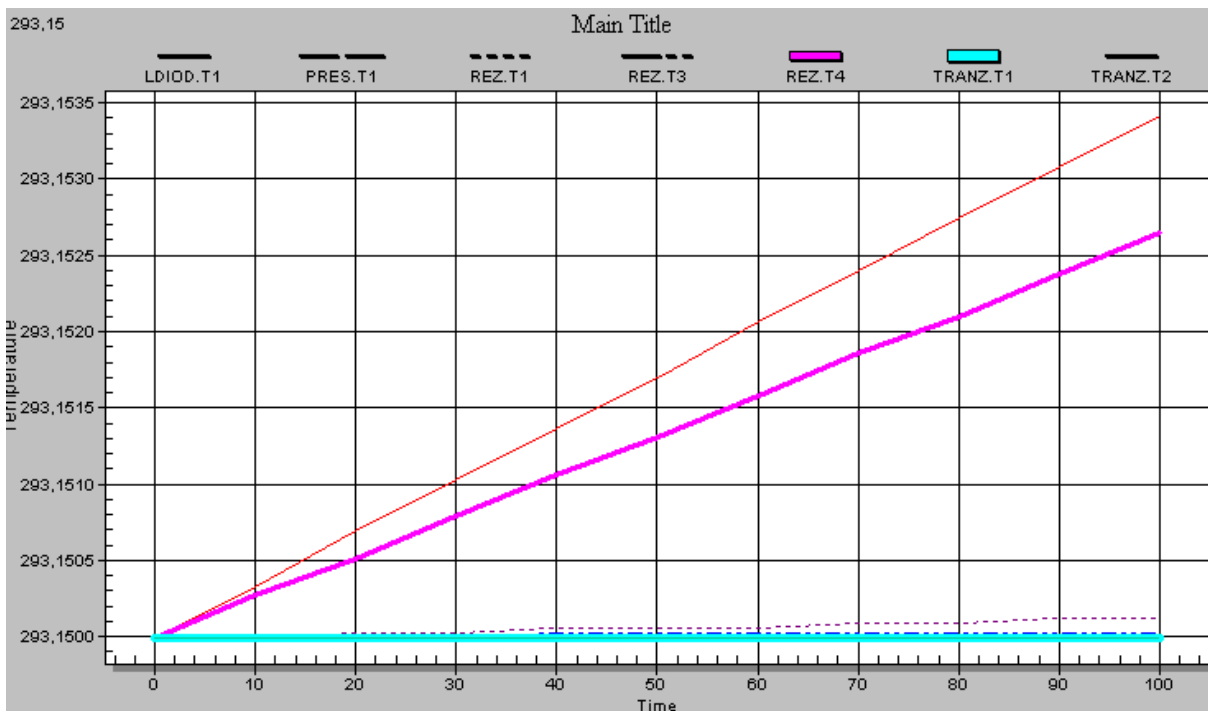


Рисунок Г. 4 – Графіки залежності температури від часу для елементної бази

Додаток Д
**Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою обду-
ву**

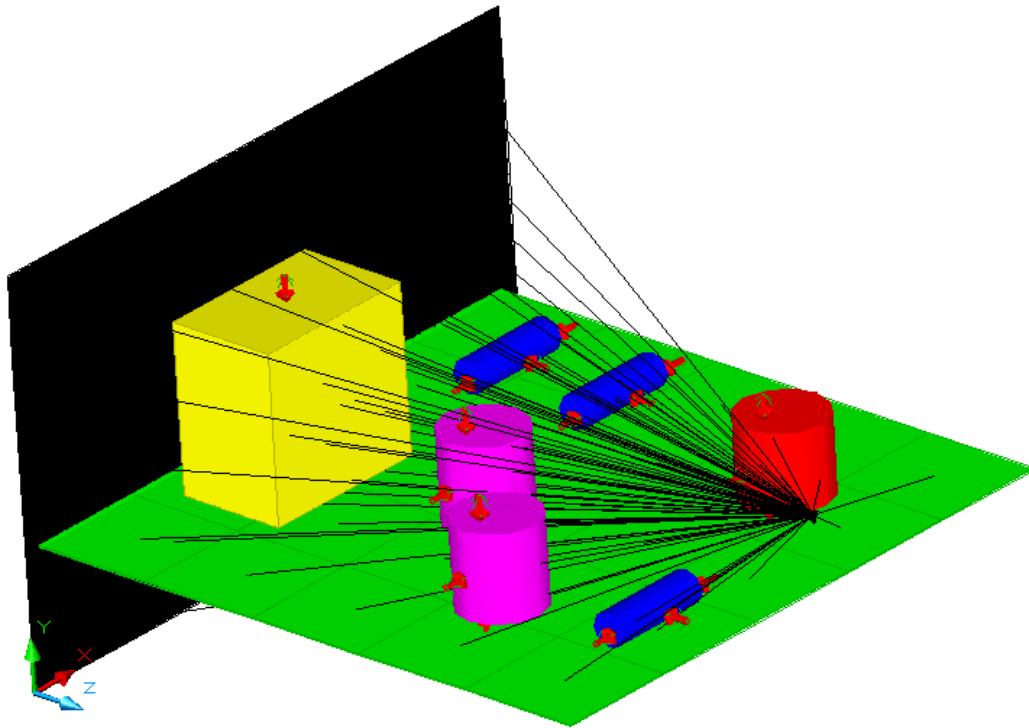


Рисунок Д. 1 – Провідники між зовнішнім середовищем та платою

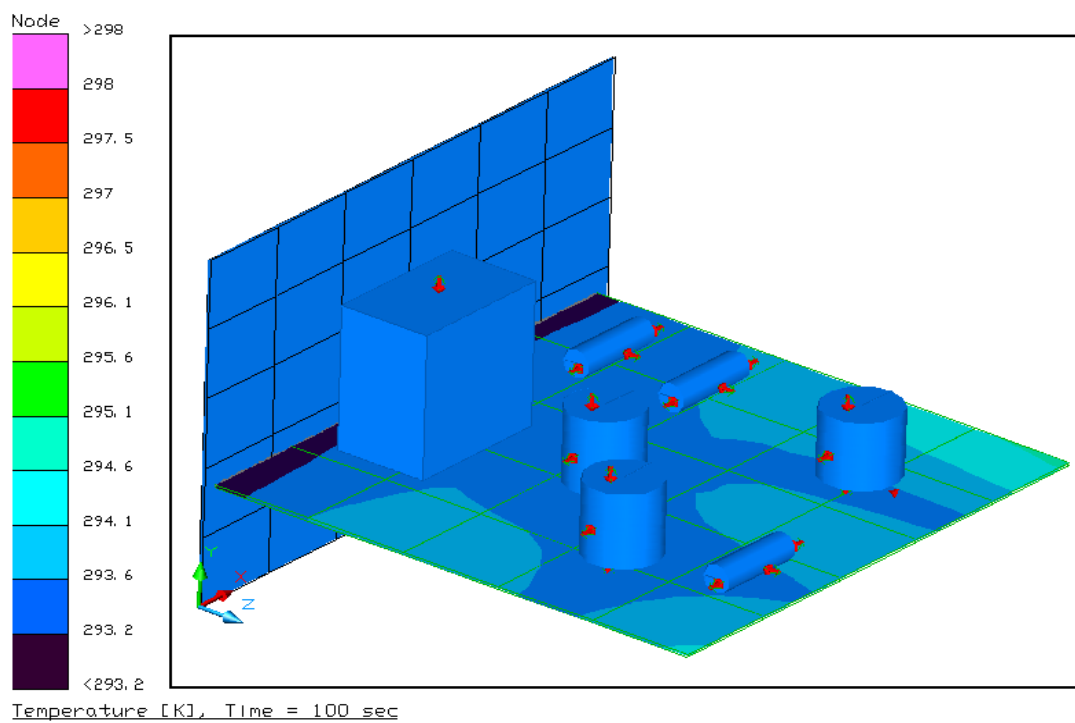


Рисунок Д. 2 – Вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі

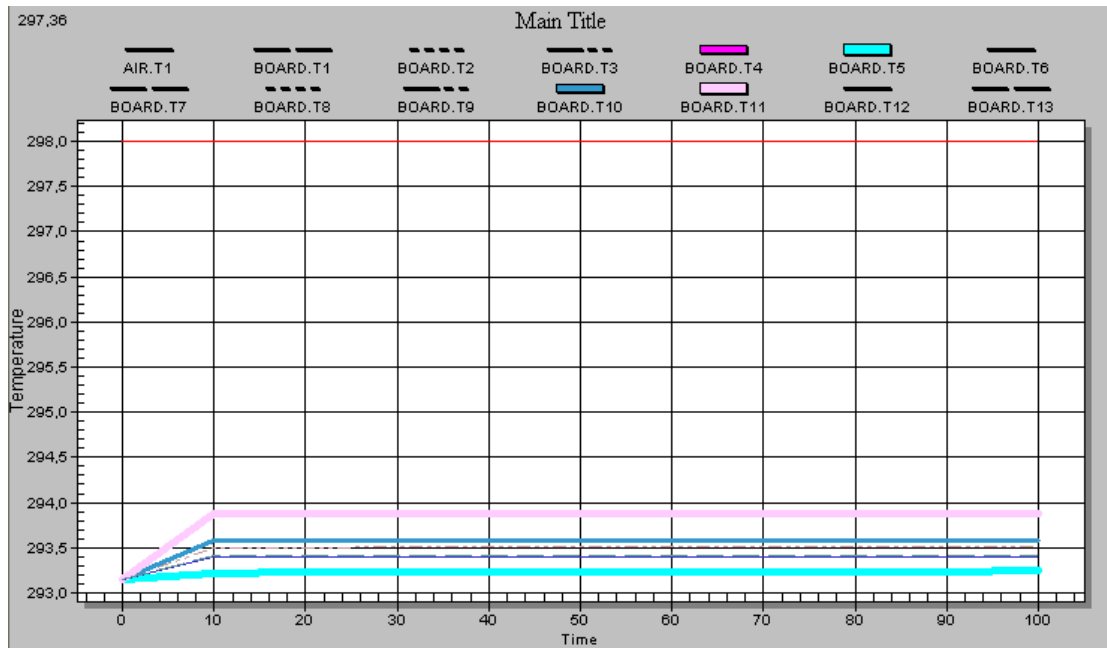


Рисунок Д. 3 – Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати

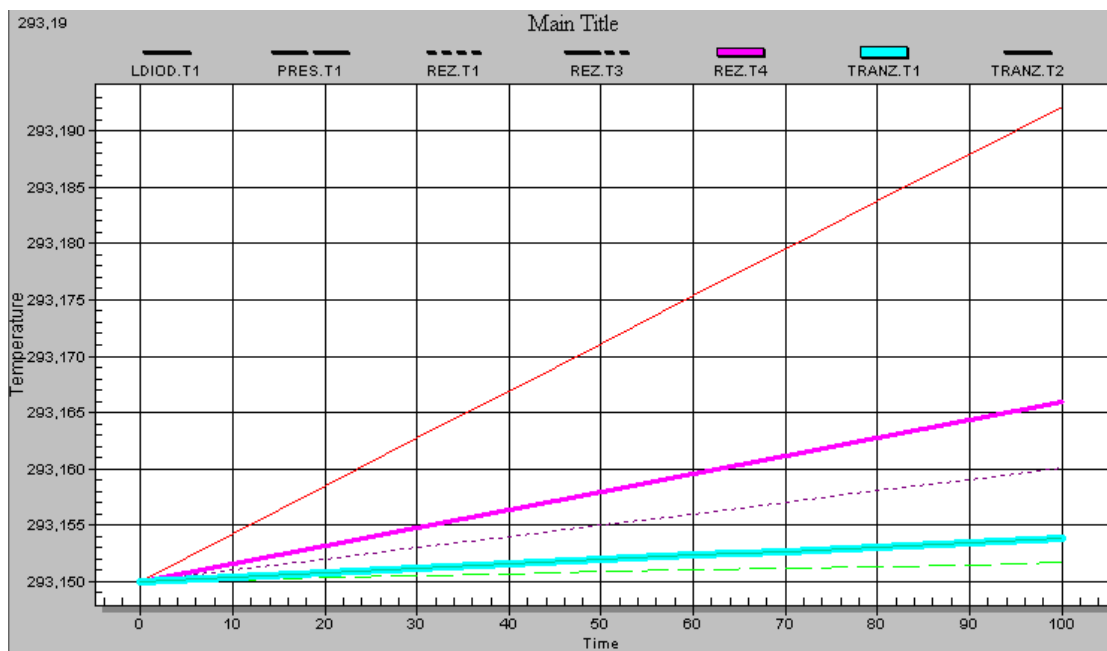


Рисунок Д. 4 – Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для елементної бази

Додаток Е
Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі

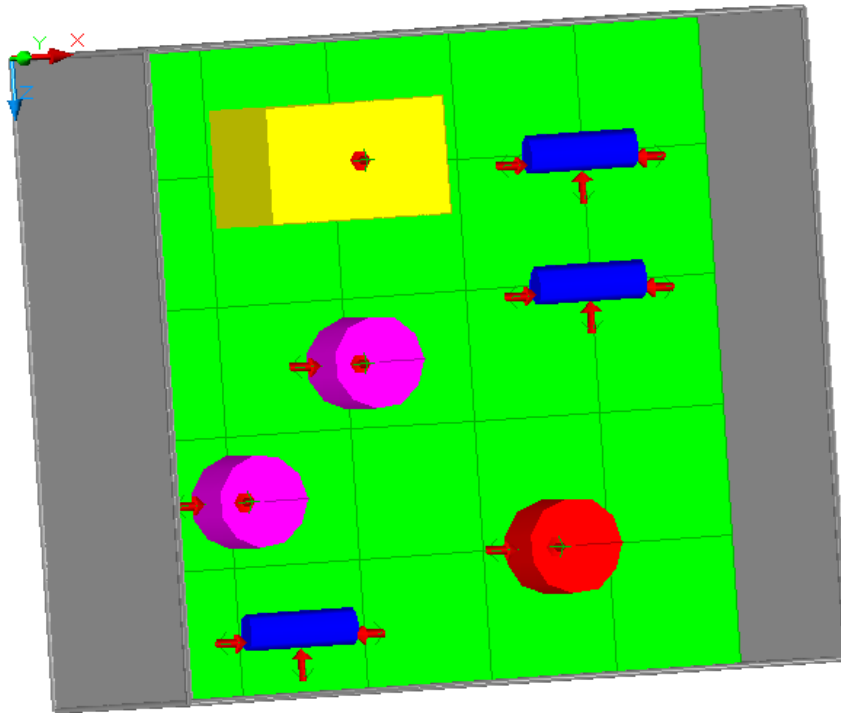


Рисунок Е. 1 – Зображення плати в корпусі

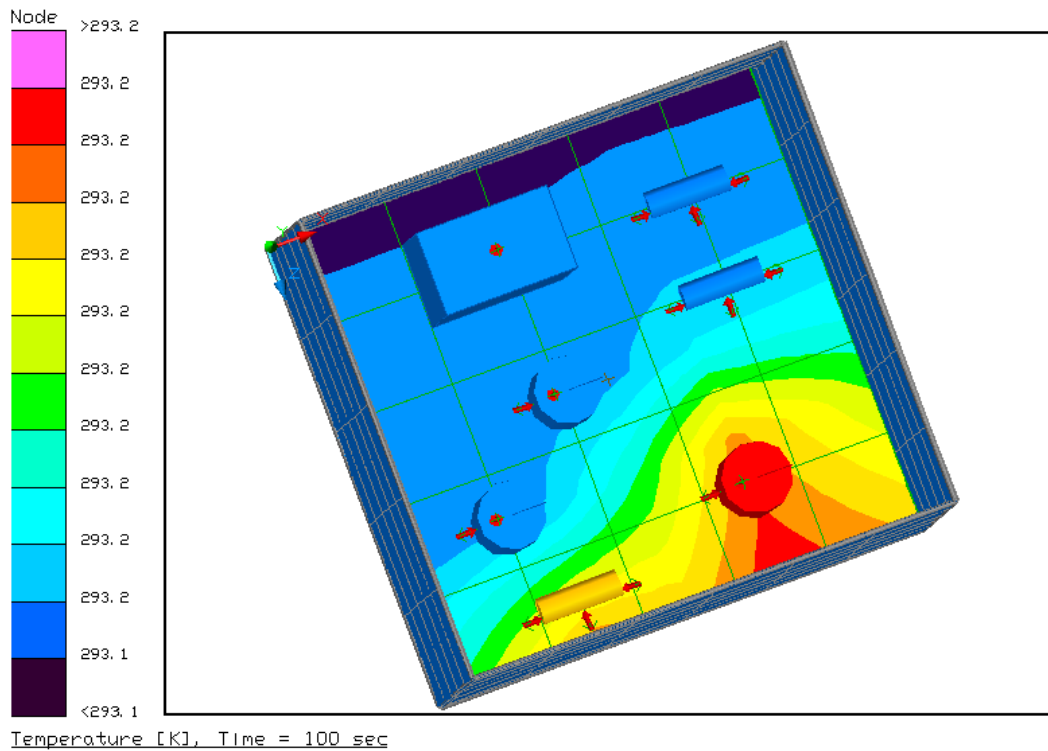


Рисунок Е. 2 – Зміна температурного тону пристрою під час його нагрівання в динамічному режимі

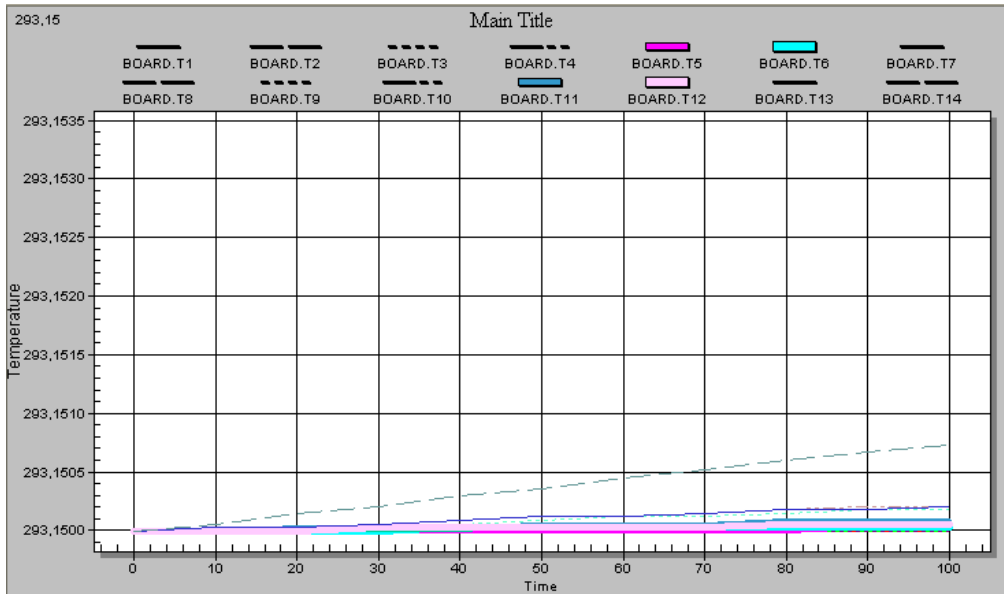


Рисунок Е.3 – Графіки залежності температури від часу для плати в корпусі

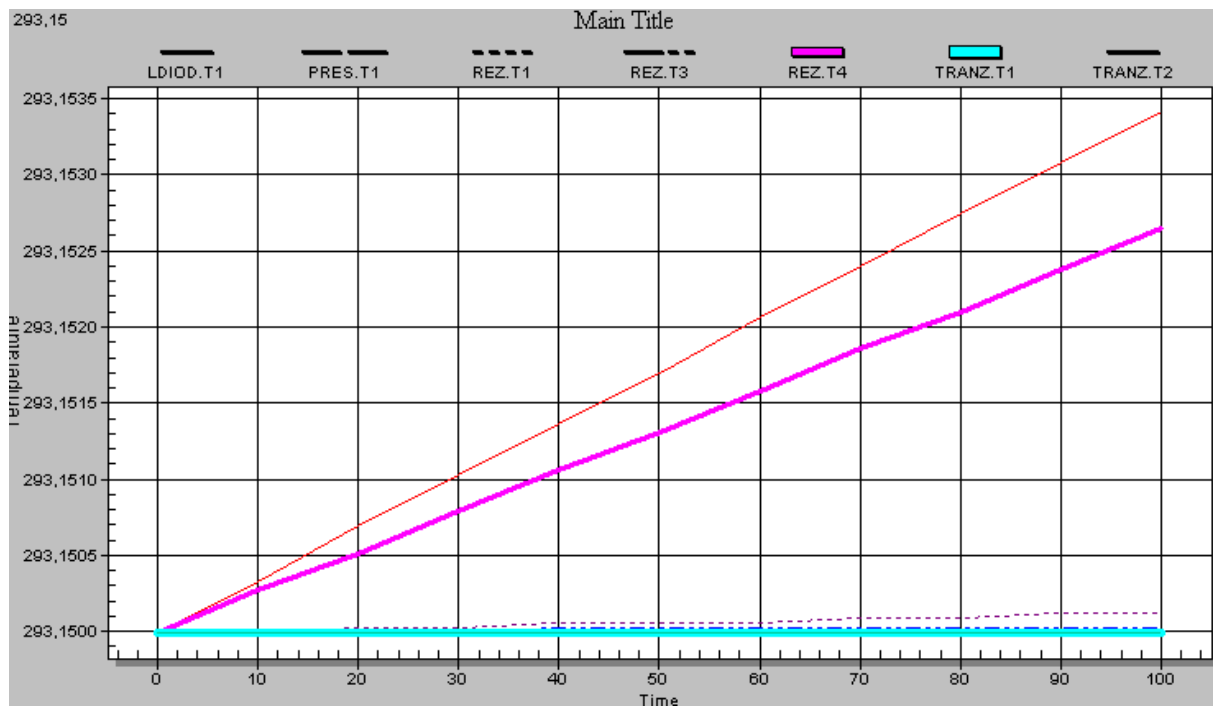


Рисунок Е.4 – Графіки залежності температури від часу для елементної бази плати в корпусі

Додаток Ж
Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі з точкою обдуву

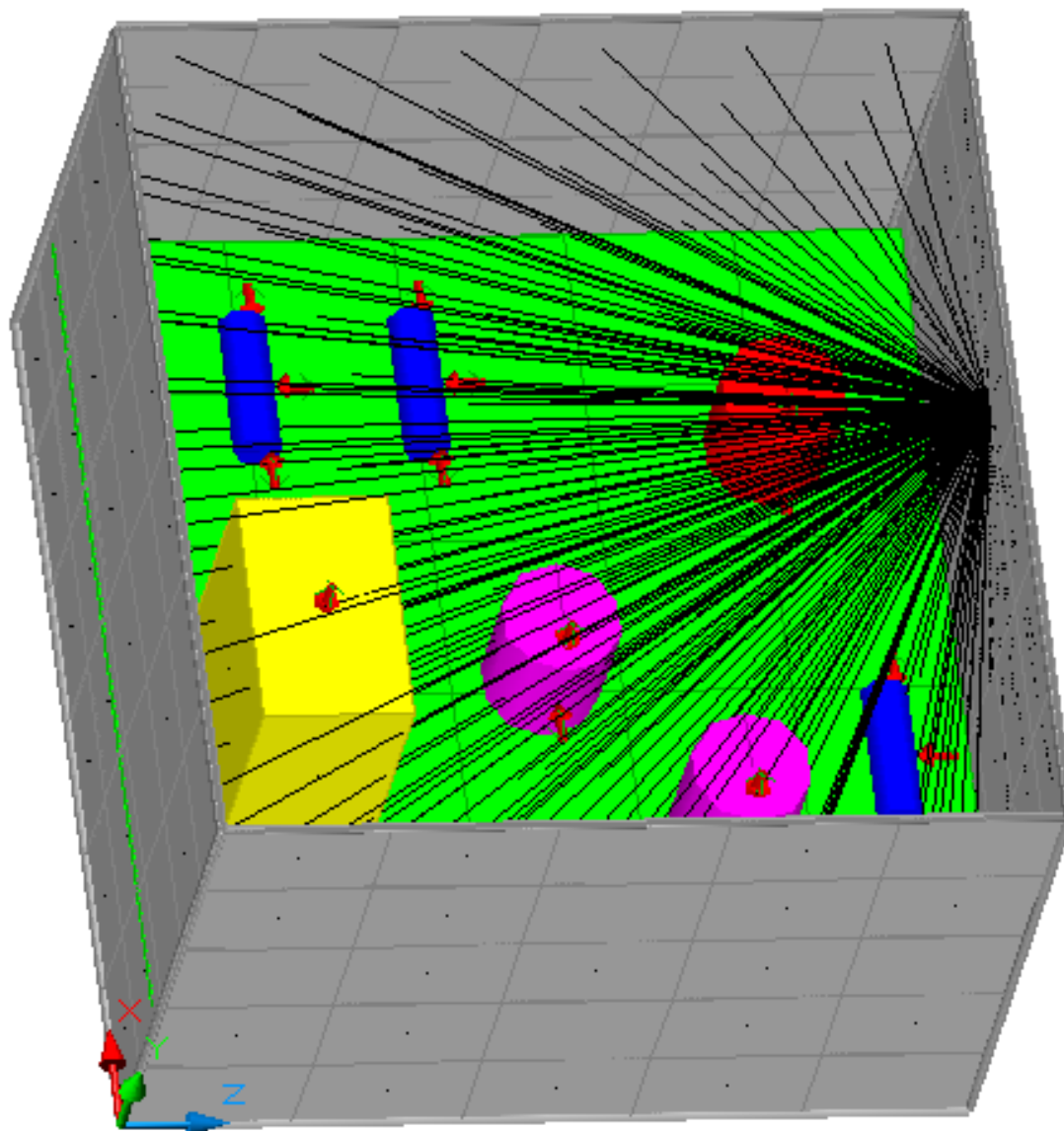


Рисунок Ж. 1 – Провідники між пристроєм і середовищем

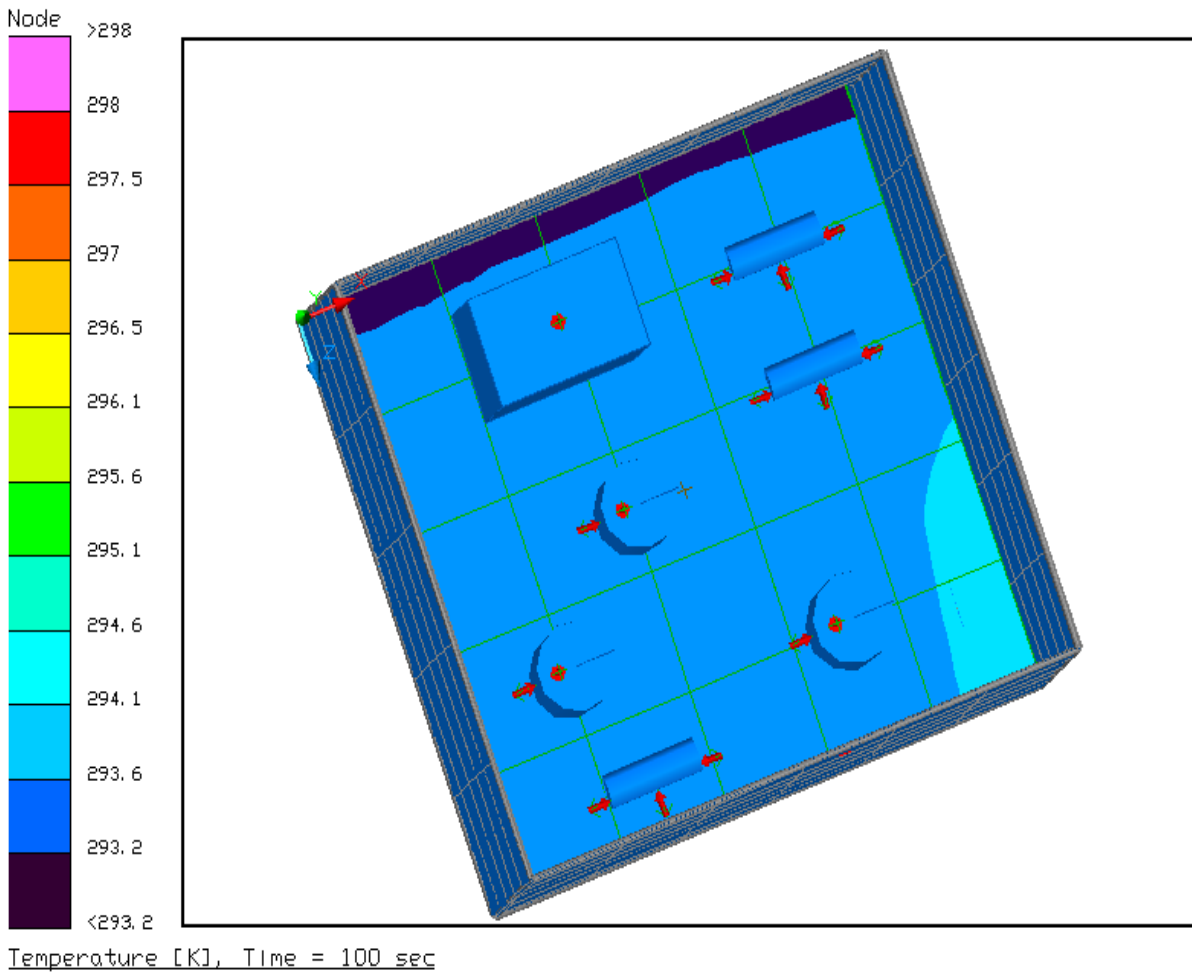


Рисунок Ж. 2 – Зміна температурного тону пристрою під час його нагрівання в динамічному режимі з обдувом

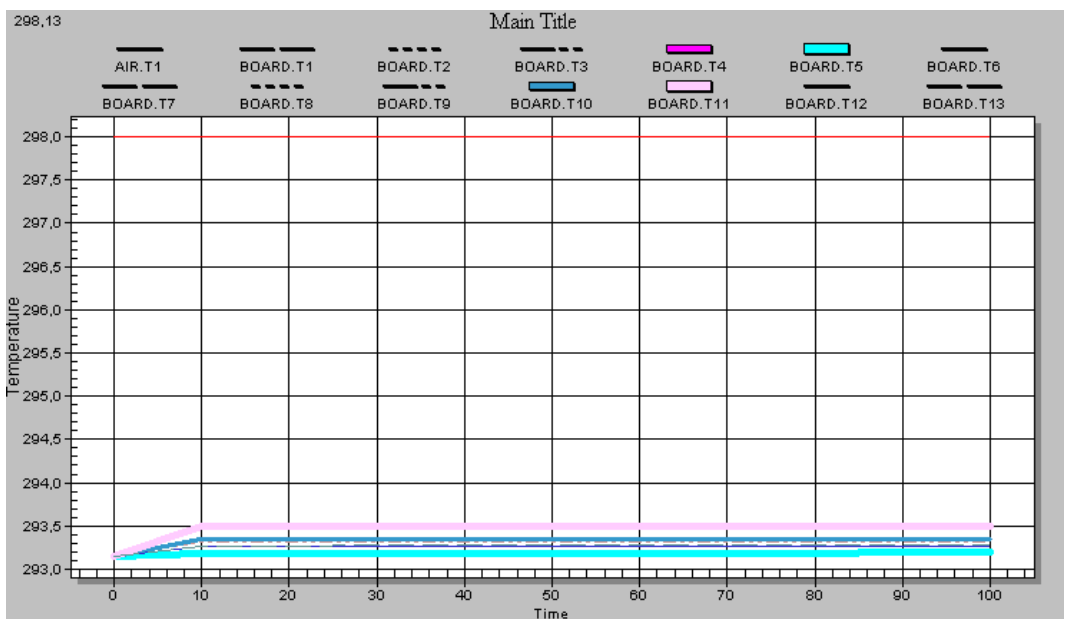


Рисунок Ж. 3 – Графіки залежності температури від часу для плати в корпусі з обдувом

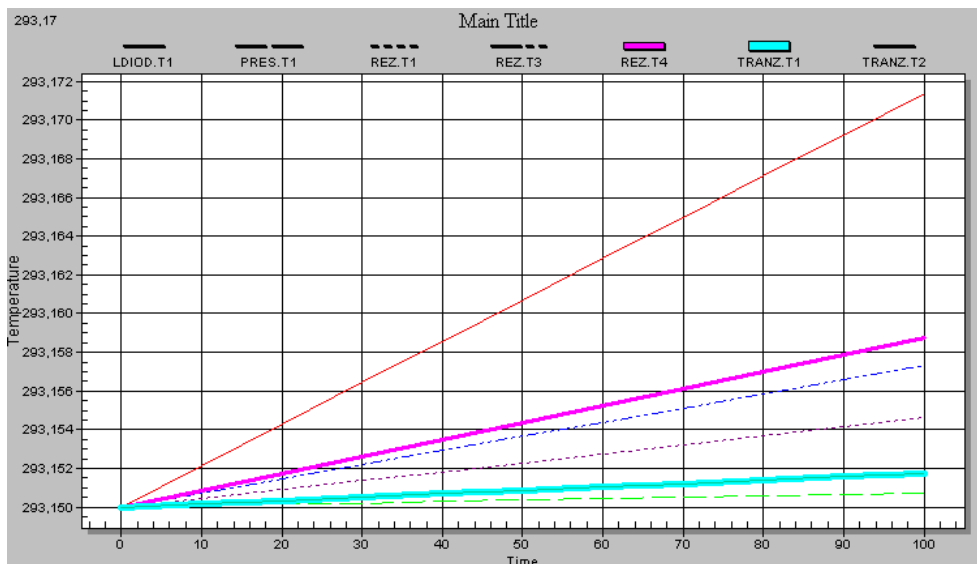


Рисунок Ж. 4 – Графіки залежності температури від часу для елементної бази плати в корпусі з обдувом

Список основных стандартів ЕСКД, необхідних для виконання курсової роботи

- ГОСТ 2.001-70-ЕСКД. Основные положения.
- ГОСТ 2.104-68-ЕСКД. Основные надписи.
- ГОСТ 2.105-95-ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
- ГОСТ 2.108-68-ЕСКД. Спецификация.
- ГОСТ 2.109-79-ЕСКД. Основные требования к чертежам.
- ГОСТ 2.301-68-ЕСКД. Форматы.
- ГОСТ 2.417-68-ЕСКД. Правила выполнения чертежей печатных плат.
- ГОСТ 2.701-75-ЕСКД. Схемы, типы и виды. Общие требования к выполнению.
- ГОСТ 2.721-74-ЕСКД. Обозначения общего применения.
- ГОСТ 2.747-68-ЕСКД. Размеры условных графических обозначений.

ГЛОСАРІЙ

Аерокосмічна промисловість - aerospace industry
Акумулятори - accumulator, battery
Апаратура - equipment
Аргумент - argument
Базові системи - barebone systems
Блочно-ієрархічний - block-hierarchical
Виділення тепла - heat evolution
Вихідне - output
Вхідне - input
Гранична точка - boundary point
Джерела тепла - sources of heat
Дюйм - inch
Емпіричні коефіцієнти - empirically determined coefficients
Ізотермічна поверхня - isothermal surface
Інтервал температур - temperature range
Коефіцієнт випромінення - emissivity
Коефіцієнт витрат - cost coefficient
Коефіцієнт запасу - reserve coefficient
Коефіцієнт тепловіддачі - heat-transfer coefficient
Коефіцієнти теплопередачі - surface-area factor
Конвективний - convective
Концентрація-density, (розчину) strength
Ламінарний рух- streamline motion
Лінія насичення- saturation line
Малопотужний- low-power
Масообмінні- mass exchanged
Нагріта – heated
Об'ємні витрати- volumetric loss
Одиниця вимірювання- unit
Орієнтація поверхні- surface orientation
Отвори- aperture, hole, perforation
Панель інструментів- toolbar
Перепад тисків- pressure difference
Перехідний- transitional
Перфорований- punched, perforated
Питома теплоємність- specific heat
Площа поверхні- surface area
Повітряне охолодження- air cooling, air-to-air cooling
Помилки обчислення- computational error
Потужність-capacity, power
Прискорення сили тяжіння- gravity
Провідник-conductor
Провідність- conductivity; conductance

Продуктивність-efficiency
Проникність- penetration
Радіатор-heater
Радіус-radius, range
РЕА- electronics
Розсіювана потужність- dissipation
Середня температура- mean temperature
Середньоарифметичне- arithmetical mean
Середовище- medium
Сухе повітря- dry air
Тепловий аналіз- thermoanalysis
Теплові потоки- heat current
Тепловіддаюча-heat-release
Теплоємність- heat capacity
Теплонапружені -high-beat
Теплообмін- heat transfer
Теплоперенесення- heat transmission
Термогідравлічне- thermohydraulic
Термочутливі- heat-sensitive
Тиск- pressure
Турбулентний-turbulent
Установні площі- locating pads
Умови експлуатації -external environment
Число Рейнольда- Reynolds number, Reynolds' number
Швидкість руху повітря- air speed
Густина- density

Література

1. Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
2. Э. М. Гольдфарб. Теплотехника металлургических процессов. – М.: Metallurgy, 1967.– 440 с.
3. В. А. Алексеев. Глава 13. Обеспечение тепловых режимов источников вторичного электропитания и их элементов. – В справочнике "Источники электропитания РЭА." – М.: Радио и связь, 1985. – с. 520–569 .
4. В. А. Алексеев. Расчет нестационарной теплопередачи многослойной стенки с неодинаковыми площадями контакта между слоями. – Инж. - физ. журнал. – Минск, 1985. – том XLIX, №3. – С. 491–496.
5. В. А. Алексеев, В. Ф. Чукин, М. В. Митрошкина. Математическое моделирование тепловых режимов аппаратуры на ранних этапах ее разработки. – М.: Информатика – Машиностроение, изд. "Выраж – Центр", 1998. – С. 17–22.
6. Горобец А. И. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). – К.: Техника, 1985. – 312 с.
7. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств. – М.: "Высшая школа", 1990.
8. Нефедов А. В., Гордеева В. И. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги. Справочник. – М.: Радио и связь, 1990.
9. Разработка и оформление конструкторской документации РЕА. \ Под редакцией Романычева Э. Г. – М.: Радио и связь, 1989.
10. Дульнев Т. Н., Парфенов В. Т., Сигалов А. В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. - М.: Высшая школа, 1990. - 206 с.
11. Домнич В. И., Зиньковский Ю. Ф. Конструирование РЭА. Тепловые влажностные режимы. Справочник. - Киев: Техника, 1992. – 246 с.
12. www.skr.radioman.ru.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Тепломасообмін в радіоелектронній апаратурі
телекомунікаційних систем»
Напрямок підготовки 0910 – «Електронні апарати»
Освітньо-кваліфікаційний рівень – спеціаліст 7.091004
«Технології та засоби телекомунікацій»

Редактор В. Дружиніна
Коректор З. Поліщук

Укладач О. Нікольський

Оригінал-макет підготовлено О. Нікольським

Підписано до друку
Форма $29,7 \times 42\frac{1}{4}$. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 9,25
Наклад прим. Зам. № 2010-91

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.