

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ В МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

© Чорна Н.Я., Левус Є.В., Федасюк Д.В., 2005

Запропоновано застосування нейромережових технологій для розв'язування нетипової задачі теплового проектування мікроелектронних пристроїв – забезпечення заданого температурного режиму вибором конструктивних та теплофізичних параметрів конструкції. Побудовано і проаналізовано алгоритм конструктивно-параметричного пошуку, який базується на переборі варіантів теплової моделі конструкції МЕР для знаходження початкового проектного рішення.

The use of neural network technologies for solving the nontypical task of microelectronic components thermal design – providing the essential thermal conditions by the selection of constructive, thermal and physical parameters of the construction is proposed. The algorithm of constructive parametric search based on searching variants of microelectronic components thermal design for finding the initial designed solution is developed and analyzed.

Актуальність проблеми. Вирішення проблеми тепловідведення в мікроелектроніці – важлива задача для проектувальників мікроелектронних пристроїв (МЕР), оскільки її результат істотно впливає на вартість, розміри, масу, споживчі якості та надійність кінцевого виробу. Тенденція до підвищення рівня інтеграції елементів МЕР коригується щодо допустимих температур конструкції, забезпечення яких – завдання теплового проектування.

Методологія задач аналізу температурних полів добре розроблена та досліджена. Існує багато наукових шкіл, які змагаються в напрямку розроблення математичного забезпечення за одержання достатньо точних результатів за мінімально можливих затрат обчислювальних ресурсів та в напрямку розроблення програмного забезпечення – за ефективне використання сучасних інформаційних технологій у системах теплового проектування. На відміну від цього, в галузі задач забезпечення заданого температурного режиму, які належать до задач синтезу, існує багато ще не вирішених як теоретичних, так і практичних питань [1]. Один з підходів до точного розв'язання задач забезпечення заданого температурного режиму ґрунтується на методології розв'язування обернених задач теплообміну. У цьому напрямку є відомою школа академіка Ю.М. Мацевитого. Традиційним підходом до розв'язування таких задач є метод конструктивно-параметричного пошуку, який полягає в переборі усіх можливих варіантів конструкцій МЕР.

Постановка задачі. Задача забезпечення заданого температурного режиму МЕР на основі вибору конструктивних та теплофізичних параметрів належить до нетипових задач теплового проектування. Вона полягає у визначенні конструктивних, теплофізичних, електричних або інших параметрів МЕР, які найкраще забезпечують заданий тепловий режим.

Вхідними даними є:

1. Опис базової теплової моделі конструкції МЕР,
2. Список параметрів вибору,
3. Список контрольованих параметрів, згідно з якими буде перевірятися забезпечення заданого температурного режиму.

Опис базової теплової моделі являє собою певну комбінацію конкретних значень параметрів моделі, які специфікують конструктивні, фізичні, електричні та інші характеристики. Варіанти

теплової моделі можуть відрізнятись не лише кількісними показниками (наприклад, питомою теплопровідністю підшарку), але й конструктивними параметрами (наприклад, кількістю та типом виводів в структурі).

Список параметрів вибору задають область пошуку стосовно вироблення рекомендації для зменшення теплового опору конструкції. Саме згідно з цими параметрами формуються різні варіанти теплової моделі конструкції.

Список контрольованих параметрів задає умову перевірки допустимого температурного режиму. Це може бути значення допустимої температури та можливе відхилення або масив заданих точок кристала та значень температури в них. Згідно з вибором дослідника в першому випадку умовою перевірки є порівняння максимальної температури конструкції з допустимою, в іншому – отриманих із заданими значеннями температур в описаних дослідником точках конструкції.

Розв'язком задачі забезпечення заданого теплового режиму є опис конструкції МЕР, тобто конкретні значення теплофізичних та конструктивних параметрів конструкції, за яких досягається найкращий збіг значень температурного режиму з контрольованими параметрами.

Задача конструктивно-параметричного пошуку значень параметрів конструкцій для забезпечення заданого теплового режиму особливо важлива на етапах синтезу початкових проектних рішень та їхньої подальшої оптимізації [2].

Складність алгоритму конструктивно-параметричного пошуку визначається розмірністю та об'ємом дискретної області пошуку. Розмірність області пошуку описується набором конструктивних та теплофізичних параметрів конструкції МЕР. Нехай N параметрів описують конструкцію МЕР, а кожен i -й параметр ($i=1, \dots, N$) може набувати K_i значень, тоді об'єм дискретної області визначається як $V = \prod_{i=1}^N K_i$. Щоб зменшити складність алгоритму конструктивно-параметричного пошуку способом повного перебору, необхідно задати напрямок пошуку.

Розв'язання задачі конструктивно-параметричного пошуку методом перебору різних варіантів конструкції. Результати аналізу температурних полів, які формуються під час функціонування МЕР, використовують для постановки задачі забезпечення заданого температурного режиму. Задача аналізу завжди може бути розв'язана тим чи іншим методом, якщо є всі задані дані для розрахунку. Задача формування рекомендації для забезпечення заданого температурного режиму зводиться до перебирання варіантів, тобто розв'язування цієї задачі через багаторазовий аналіз температурних полів [3].

Такий підхід є ефективним при застосуванні системи евристичних рішень до створення області пошуку можливих варіантів наборів теплофізичних та конструктивно-топологічних параметрів конструкції. В іншому разі повний перебір усіх можливих варіантів конструкції вимагає великих обчислювальних ресурсів для досягнення бажаного результату.

Оскільки знаходження розв'язку задачі забезпечення заданого температурного режиму полягає в неодноразовому розв'язанні задачі аналізу, то саме швидкість та точність методу аналізу визначають складність реалізації процедури вибору теплофізичних та конструктивних параметрів конструкції МЕР, за певних значень яких максимальна температура конструкції не перевищувала б допустиму.

Висновки про роль різних способів тепловідведення в конструкціях МЕР з кристалом на жорстких виводах є основою для вироблення типових рішень, які приймають для зниження температури в конструкції. Сукупність усіх рішень утворюють базу даних. Типове рішення є рекомендацією, як потрібно змінити теплофізичні та конструктивно-топологічні характеристики певного компонента конструкції (кристал, підшарок, виводи та джерело), щоб зменшити тепловий опір конструкції в межах впливових параметрів. Впливові параметри визначаються як такі, при виході значень яких за певні межі істотно змінюється роль параметра вибору. Іншими словами, параметри вибору задають область стійкості типового рішення. Наприклад, типове рішення для параметра вибору *кількість виводів конструктивного типу* вказує на зниження теплового опору в межах 30 відсотків при впливовому параметрі *коефіцієнт теплообміну*, що моделює конвективний

теплообмін. Тобто типове рішення – це набір даних: параметр вибору (R_i), мережа вибору (R_i^0, R_i^N, δ_i), список впливових параметрів ($\{I_k\}_{k=1..s}$), їхні межі ($\{I_k^0, I_k^N\}_{k=1..s}$) та рекомендація при виході за їхні межі, тобто вибір іншого параметра (R_i).

Стратегія визначення параметрів вибору базується на аналізі температурної чутливості конструкції [4]. Наприклад, для конструкції МЕР з кристалом на жорстких виводах (flip-chip technology) параметрами вибору є матеріал шарів кристала та підшарку, розмір підшарку, кількість жорстких виводів, матеріал жорстких виводів, вміст виводів другого типу у загальній кількості, умови тепловідведення з граничних поверхонь, розміщення тепловідільних елементів на активній ділянці кристала.

Описання базової конструкції задає початкові значення всіх даних, що описують конструкцію, для якої буде здійснюватися температурний аналіз.

Якщо початковий варіант не задовольняє потрібної вимоги щодо теплового опору, то вибирають інший варіант конструкції з урахуванням вибору попереднього. І так здійснюється багатократний аналіз, поки не будуть знайдені ті значення параметрів конструкції, що задовольняють вимогу стосовно забезпечення заданого теплового опору конструкції МЕР. Загальна схема процедури вироблення рекомендації для зниження температури конструкції подана на рис. 1.

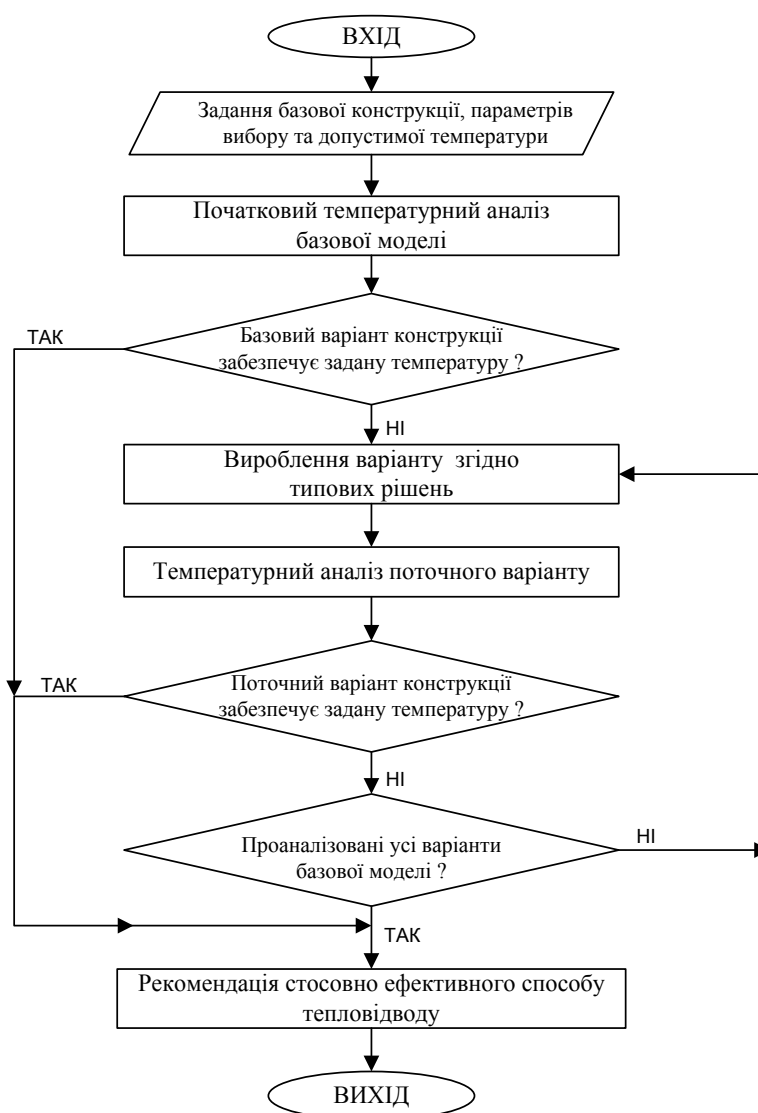


Рис. 1. Алгоритм пошуку параметрів конструкції для пониження теплового опору

Розглянемо можливості застосування запропонованої процедури пошуку. Тестовою конструкцією є кристал МЕР, встановлений з допомогою двадцяти жорстких виводів на керамічний підшарок, покритий шаром полііміду. Решта характеристик тестової конструкції задані в табл. 1.

Таблиця 1

Теплофізичні та конструктивні параметри тестової структури

Область конструкції	Розміри, мм			Матеріал
	по x	по y	по z	
Кристал	4	3,6	0,3	Кремній, $\lambda=80$ Вт/м °С
Перший шар підшарку	16	8	0,02	Ізолятор, $\lambda=1$ Вт/м °С
Другий шар підшарку	16	8	0,5	Кераміка, $\lambda=35$ Вт/м °С
Третій шар підшарку	16	8	3	Алюміній, $\lambda=216$ Вт/м °С
Вивід	0,02	0,02	0,06	Сплав, $\lambda=120$ Вт/м °С

Для описаної конструкції МЕР були отримані результати чотирьох варіантів, які подані в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика засобів тепловідведення

№	Тепловий опір, °С/Вт	Рекомендація стосовно умов тепловідведення
1	310,0	Один тип виводів. Конвективний теплообмін підшарка та пасивної поверхні кристала зі середовищем.
2	263,0	Два типи виводів (по 10 шт.). Конвективний теплообмін підшарку та пасивної поверхні кристала зі середовищем.
3	30,9	Два типи виводів (по 10 шт.). Ізотермічність нижньої поверхні підшарку ($T=0$ °С).
4	19,0	Два типи виводів (по 10 шт.). Ізотермічність верхньої поверхні кристала ($T=0$ °С).

Вироблені рекомендації дають змогу знайти початкове рішення для забезпечення заданого температурного режиму конструкції МЕР з кристалами на жорстких виводах, яке може враховуватися при проектуванні МЕР цього типу.

Недоліками розглянутого алгоритму є:

- 1) значна присутність людського чинника при формуванні типових рішень МЕР стосовно зниження теплового опору конструкції;
- 2) велика ресурсомісткість, оскільки не враховується попередній досвід розв'язування задачі, а ведеться перебір по всій множині значень параметрів;
- 3) база даних типових рішень для забезпечення заданого температурного режиму має рекомендаційний характер і не може вважатися точними даними.

Методика розв'язування задачі на основі нейронних мереж. Для розв'язування задачі забезпечення заданого температурного режиму конструкції МЕР доцільним є використання нейромережі зворотного поширення похибки (Back Propagation). Типова мережа BackPropagation має вхідний прошарок, вихідний прошарок та принаймні один прихований прошарок. Теоретично обмежень відносно кількості прихованих прошарків не існує, але практично застосовують один або два (рис. 2) [5, 6].

Нейрони організовані в пошарову структуру з прямим передаванням сигналу. Кожний нейрон мережі продукує зважену суму своїх входів, пропускає цю величину через передатну функцію і видає вихідне значення. Мережа може моделювати функцію практично будь-якої складності, причому кількість прошарків і кількість нейронів у кожному прошарку визначають складність функції. Визначення кількості проміжних прошарків і кількості нейронів в них є важливим при моделюванні мережі. Більшість дослідників та інженерів, застосовуючи архітектуру до визначених проблем, використовують загальні правила, зокрема:

1. Кількість входів та виходів мережі визначаються кількістю вхідних та вихідних параметрів досліджуваного об'єкта, явища, процесу тощо. На відміну від зовнішніх прошарків, кількість нейронів прихованого прошарку $n_{\text{прих}}$ вибирають емпірично. Здебільшого достатня кількість нейронів становить $n_{\text{прих}} \leq n_{\text{вх}} + n_{\text{вих}}$, де $n_{\text{вх}}$, $n_{\text{вих}}$ – кількість нейронів у вхідному і, відповідно, у вихідному прошарках.

2. Якщо складність у відношенні між отриманими та бажаними даними на виході збільшується, кількість нейронів прихованого прошарку повинна також збільшитись.

3. Якщо процес, що моделюється, може розділятися на багато етапів, потрібен додатковий прихований прошарок (прошарки). Якщо процес не розділяється на етапи, тоді додаткові прошарки можуть допустити переzapам'ятовування і, відповідно, неправильне загальне рішення.

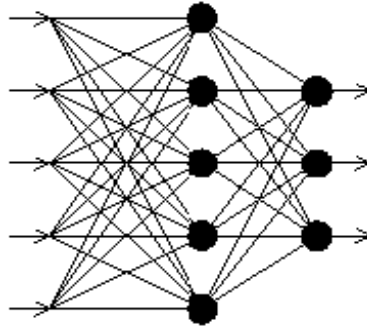


Рис. 2. Багатошаровий перцептрон

Після того, як визначено кількість прошарків і кількість нейронів у кожному з них, потрібно знайти значення для синаптичних ваг і порогів мережі, які спроможні мінімізувати похибку спродукованого результату. Саме для цього існують алгоритми навчання, де відбувається припасування моделі мережі до наявних навчальних даних. Похибка для конкретної моделі мережі визначається проходженням через мережу всіх навчальних прикладів і порівняння спродукованих вихідних значень з бажаними значеннями. Множина похибок створює функцію похибок, значення якої можна розглядати як похибку мережі. Як функцію похибок найчастіше використовують суму квадратів похибок.

Множина даних, які характеризують проблему, включає розміри кристала, товщину кристала, коефіцієнт теплопровідності матеріалу кристала, розміри підшарку, товщина підшарку, коефіцієнт теплопровідності матеріалу підшарку, коефіцієнт теплообміну з поверхонь кристала та підшарку, кількість виводів на кристалі, температура довкілля, потужність розсіювання джерела тепла. Для формування множини даних навчання і тестування мережі доцільно використати Internet-орієнтовану систему температурного аналізу WebT AFC, яка здійснює аналіз стаціонарних тривимірних температурних полів в МЕР з кристалами на жорстких виводах [7].

Вхідними сигналами для мережі будемо приймати: кількість джерел тепла, потужність джерел тепла, допустима температура нагрівання (для навчання і тестування мережі одержується при розв'язанні задачі аналізу температурних полів засобами WebT AFC), умови теплообміну. Вихідними сигналами: кількість жорстких виводів, матеріал жорстких виводів, вміст виводів другого типу у загальній кількості.

Висновки

1. Сформульована нетипова задача теплового проектування – задача забезпечення заданого температурного режиму в МЕР, яка може бути розв'язана на основі вибору певних значень конструктивних та теплофізичних параметрів МЕР через багатократний температурний аналіз конструкції.

2. Побудований алгоритм конструктивно-параметричного пошуку рішення конструкції для забезпечення заданого температурного режиму має властивості:

- Ядром алгоритму є процедура температурного аналізу, багаторазове виконання якої визначає результат пошуку.

- Область пошуку є дискретною множиною певних наборів конструктивних та тепло-фізичних параметрів МЕР.
- Складність алгоритму повного перебору визначається об'ємом дискретної області пошуку і може бути зменшена заданням напрямку пошуку.
- Напрямок пошуку задається базою типових рішень конструкції, які сформовані як висновки про роль елементів конструкції в процесі тепловідведення.

3. Зважаючи на недоліки побудованого алгоритму конструктивно-параметричного пошуку (ресурсомісткість, присутність людського чинника), запропоновано для розв'язування задачі забезпечення заданого температурного режиму застосування нейромережових технологій.

4. Для розв'язування задачі забезпечення заданого теплового режиму в конструкціях МЕР можна використати властивість нейронної мережі навчатися на розв'язках прямих задач теплового проектування. Це дає ряд переваг: здатність нейромережі до абстрагування дає змогу створювати образи, з якими вона ніколи не зустрічалася; зменшення людського фактору в процесі теплового проектування; високу точність вихідних даних, оскільки навчання здійснюється на реальних даних, і точність контролюється вибором моделі і алгоритмів нейромережі.

1. Федасюк Д.В. *Методи та засоби теплового проектування мікроелектронних пристроїв*. – Львів, 1999. 2. Батищев Д. И. *Методы оптимального проектирования*. – М., 1984. 3. Федасюк Д., Левус Є. *Комп'ютерне моделювання та забезпечення температурних режимів мікроелектронних пристроїв з кристалами встановленими на жорсткі виводи // Матеріали Міжнародної конференції з індуктивного моделювання (МКІМ2002)*.– Львів. – 2002. – Т. 3. – С.335–341. 4. Федасюк Д.В. *Аналіз параметричної чутливості температурних полів у конструкціях мікроелектронних пристроїв // Вісн. Державного університету “Львівська політехніка”*. – №313. – 1996. – С.3–8. 5. Осовский С. *Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского*. – М., 2004. 6. Bernhard Pichler and Herbert A. Mang. *Parameter Identification for Sophisticated Material Models by Means of Iterative Back Analyses Based on Soft Computing /European Conference on Computational Mechanics*. – Cracow (Poland). – June 26–29, 2001. –P.1–20. 7. Fedasyuk D., Petrov D., Levus E. *Web-based thermal simulator WEBTAFS /Комп'ютерні технології друкарства – № 6. – 2001. – С. 146–152*.

УДК 004.413

П.І. Жежнич

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних систем та мереж

ОРГАНІЗАЦІЯ РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ XML

© Жежнич П.І., 2005

Визначено правила описання XML-документів, які містять реляційні дані. Описано правила визначення DTD (Document Type Definition) та структури XML-документа, якщо DTD не використовується.

This paper considers rules of XML-documents description that contain relational data. Rules of DTD definition and XML-document structure are described.

Постановка проблеми. Аналіз сучасних інформаційних технологій показує, що за останні десять років найстрімкіше розвинулося глобальне середовище Internet та відповідні програмні, апаратні та технологічні засоби. Практично всі підприємства чи установи, які здійснюють інформатизацію своєї діяльності, намагаються належно подати себе у World Wide Web. Це призводить до того, що інформація, яка зберігається в межах корпоративних інформаційних систем,