

3. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Пер. с англ. И. Грушко. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
4. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем / О.И. Авен и др. – М.: Наука, 1982. – 464 с.
5. Кузьмін О.В. Модель системи оперативної обробки з постійним числом клієнтів // Вісник НУ "Львівська політехніка", 2002. – № 450. – С. 145-148.

В.Теслюк, М.Лобур, К.Колісник, П.Денисюк
 Національний університет "Львівська політехніка"

УДК 621.3.049.77.017

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНЬ ТА ПЕРЕМІЩЕНЬ В АКТЮАТОРІ НА БАЗІ ДВОШАРОВОЇ ПЛАСТИНИ

© Теслюк В, Лобур М., Колісник К., Денисюк П., 2003

Розроблено математичну модель для обчислення термонапружень та термопереміщень в актюаторі на базі двошарової пластини. Математична модель базується на рівняннях в часткових похідних, які враховують нелінійні процеси в конструкції актюатора і для розв'язання яких використано метод скінченних елементів. Це дало можливість забезпечити високу точність вихідних результатів на відміну від існуючих моделей актюаторів даного типу.

In this paper developed mathematical model for thermostrains and thermo-displacements calculations for actuators are presented. For problem solving finite element method is proposed. Such kind of solution allows to provide high precision of output results compare with previous models of actuators.

Вступ

Протягом останніх 15–20 років спостерігається значний прогрес у галузі мініатюризації механічних структур. Ця тенденція привела до розвитку існуючих і появи нових технологій. Спершу ці технології розвивались у напрямку вдосконалення технологічних процесів, які використовувались в мікроелектроніці. З часом, використавши передові технології мікроелектроніки, точної механіки та ряду інших технологій (таких, як, наприклад, технологія поверхневої і об'ємної мікрообробки [1], LIGA технологія та ін.) було сформовано сукупність технологічних процесів, які надали можливість виготовляти різні елементи мікробудованих пристроїв [1], а саме: сенсори та актюатори.

Будь-яка мікробудована система містить такі три основні пристрої:

- сенсори, які призначені для отримання інформації про стан довкілля;
- мікропроцесорний блок, який обробляє отриманий сигнал згідно з заданим алгоритмом і видає керуючий сигнал;
- виконуючий пристрій (актюатор), який перетворює електричний сигнал в керований рух.

Стрімкий розвиток технологій виготовлення та проектування мікробудованих систем не можливий без сучасних програмних систем [2, 3, 4] та потужної комп'ютерної техніки.

Процес проектування та аналізу мікробудованих систем вимагає досконалого вивчення основних фізичних процесів у сенсорах та актюаторах і, відповідно, побудови точних математичних моделей їх функціонування, на яких базуються сучасні програмні системи.

Основна частина

Сьогодні існує багато математичних моделей для актюаторів та сенсорів [5, 6, 7, 8], але основний їх недолік полягає в тому, що ці моделі не дозволяють проаналізувати вихідні параметри в часі та не володіють високою точністю. Тому для аналізу вихідних характеристик слід використовувати більш точні математичні моделі, які володіють вищою точністю і відповідно описуються нестационарними рівняннями в часткових похідних [9, 10].

Весь необмежений діапазон мікроактюаторів можна розділити на певні групи залежно від типу перетворюваної енергії. Отже, сьогодні існують такі основні види виконуючих пристроїв: механічні, термічні, хемічні, випромінювальні, магнітні та електричні.

Найбільш поширеним видом актюаторів є термічні. Процес проектування такого пристрою вимагає циклічного аналізу як його електричних, так і механічних параметрів.

Розглянемо актюатор, який складається з двошарової пластини (рис. 1) довжиною l , шириною та висотою $h = S_{Si} + S_{Al}$. На верхній частині актюатора розміщено нагрівальний елемент.

Принцип дії цього пристрою такий. При нагріванні конструкції актюатора нагрівальним елементом пристрій виконує термопереміщення y за рахунок різних коефіцієнтів теплового розширення.

Математична модель для визначення розподілу температури в термоактюаторі містить розв'язок рівнянь теплопровідності [11, 12]:

$$\rho_{Si} c_{Si} = \text{div}(\lambda_{Si} \text{grad } T_{Si}), \quad \text{при } h \in S_{Si};$$

$$\rho_{Al} c_{Al} = \text{div}(\lambda_{Al} \text{grad } T_{Al}), \quad \text{при } h \in S_{Al},$$

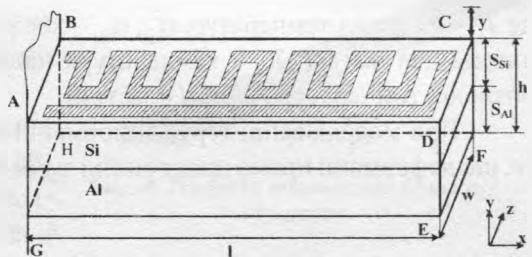


Рис. 1. Конструкція актюатора на основі двошарової пластини

де ρ_{Si} і ρ_{Al} – густини Si і Al , відповідно; c_{Si} і c_{Al} – коефіцієнти теплоємності Si і Al ; λ_{Si} і λ_{Al} – коефіцієнти теплопровідності Si і Al ; T_{Si} і T_{Al} – температури в пластині кремнію та алюмінію.

З початковою умовою $T_{Si} = T_{Al} = T_0$, при $t = t_0$, та початковими умовами: на границі розділу двох середовищ:

$$T_{Al} = T_{Si} \quad \text{а} \quad \lambda_{Si} \frac{\partial T_{Si}}{\partial n} = \lambda_{Al} \frac{\partial T_{Al}}{\partial n},$$

на площині $ABCD$ пристрою:

$$T_{Si} = T^*,$$

на площині $ADEG$, $DCFE$, $BHDC$ та $GHFE$:

$$\frac{\partial T}{\partial n} + \alpha(T - T_{ST}) = 0,$$

на площині $ABHG$:

$$\frac{\partial T}{\partial n} + \alpha_{Al}(T - T_0) = 0 \quad \text{для} \quad h \in S_{Al};$$

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad \text{для} \quad h \in S_{Si},$$

де T^* – перепад температур; α_{Si} , α_{Al} – коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем для Si і Al ; T_{St} – температура навколишнього середовища; T_0 – початковий розподіл температури в Si/Al пластині.

При моделюванні термодеомацій та напружень використана інформація про те, що деформації прямо пропорційні зміні температур, тобто:

$$\epsilon_T = \alpha T,$$

де ϵ_T – термодеомації; α – коефіцієнт теплового розширення матеріалу; T – перепад температур.

Співвідношення, які зв'язують термонапруження з деформациями при врахуванні теплових впливів, є такі:

$$\sigma = D(\epsilon - \epsilon_T) = D(\epsilon - \alpha T),$$

де ϵ – деформация, які обумовлені силовим впливом; $\sigma_T = D\epsilon_T$ – температурні напруження.

За наявності в конструкції залишкових напружень попередній вираз набуде такого вигляду:

$$\sigma_T = \sigma_0 + D(\epsilon - \epsilon_0 - \epsilon_T).$$

де σ_0 – початкові напруження, ϵ_0 – початкові деформация.

Для розв'язання тривимірної задачі використано метод скінченних елементів [13, 14]. Як скінченний елемент вибрано тетраедр.

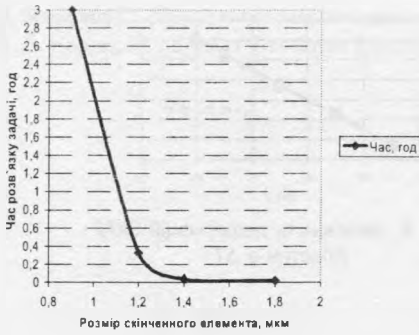


Рис. 2. Залежність часу розв'язання задачі від розміру скінченного елемента (тетраедра)

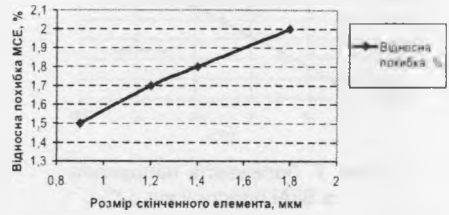


Рис. 3. Залежність відносної похибки MSE від розміру скінченного елемента

Застосування методу скінченних елементів потребувало проведення ряду обчислювальних експериментів, які пов'язані із впливом розміру скінченного елемента на час розв'язання задачі та оцінку похибки, яку вносить метод скінченних елементів залежно від розмірів тетраедра.

Результати проведених обчислювальних експериментів наведено на рис. 2 та 3.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що при розмірі ребра тетраедра меншому за 1,2 – 1,4 мкм. витрати часу на розв'язання задачі різко зростають. При цьому значення відносної похибки практично незмінне в данному діапазоні зміни розмірів скінченного елемента.

Оскільки отримані значення відносної похибки є набагато менші порівняно з похибкою вхідних даних, то при подальших розрахунках будемо використовувати тетраедри з розміром ребра 1,8 мкм. Використання тетраедра з розмірами більшими ніж 1,8 мкм. неможливе, оскільки це обмеження накладається товщиною одного з матеріалів актюатора (товщина пластини Al = 1,8 мкм).

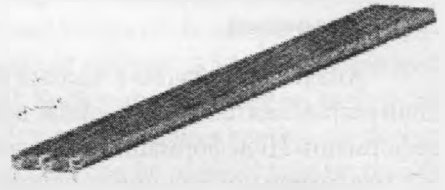


Рис. 4. Покриття елементами бішарової структури

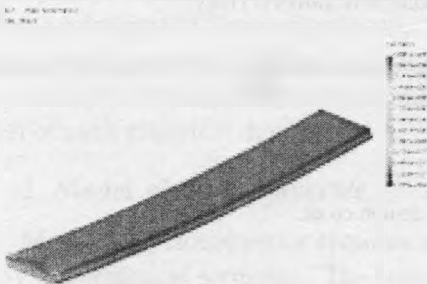


Рис. 5. Розподіл термонапружень для двошарової пластини Si/Al при $\alpha T = 50$ K

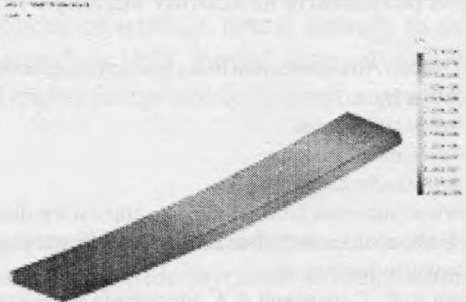


Рис. 6. Розподіл термопереміщень для двошарової пластини Si/Al при $\alpha T = 50$ K

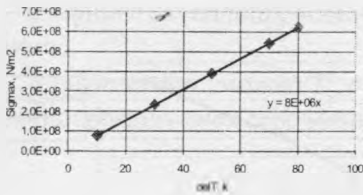


Рис. 7. Залежність напружень в Si/Al пластині від ΔT

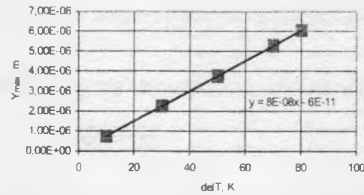


Рис. 8. Залежність деформацій Si/Al пластин в ΔT

Результати моделювання

Приклад покриття області моделювання тривимірними елементами наведено на рис. 4.

Моделювання розподілу напружень та деформацій проводилось для різних значень перепаду температури (10 K, 30 K, 50 K, 70 K, 80 K). Приклад напружень для бішарової пластини наведено на рис.5 та 6 відповідно, а на рис.7 та 8 наведено залежності максимальних напружень та деформацій для різних перепадів значень температури. Відповідні залежності практично є лінійними функціями, а саме: при зростанні різниці температур зростають максимальні напруження та деформації в бішаровій пластині.

Висновки

Аналіз даної задачі в часовій області дозволяє стверджувати, що на початковому етапі нагрівання пластини починає деформуватись у протилежному напрямку до основної деформації. Ці деформації є незначними і як правило знаходяться в діапазоні 5 – 10 % від максимальної величини основної деформації. Подальше нагрівання бішарової структури призводить до деформації пластини у протилежному напрямку. У випадку, коли бішарова пластинка повністю рівномірно прогріється, величина деформації має найбільше значення.

Розроблено математичну модель для обчислення термонапружень та термопереміщень в актюаторі на базі двошарової пластини, яка враховує нелінійні та нестационарні процеси в даному пристрої, що дало можливість забезпечити високу точність вихідних результатів на відміну від існуючих моделей даного типу.

1. Maluf, Nadim An introduction to microelectromechanical system engineering//Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
2. <http://www.tanner.com>.
3. <http://www.memcap.com>.
4. <http://www.cadence.com>.
5. <http://www/micromachine.narod.ru>. 6. <http://www.dbanks.demon.co.uk>.
7. <http://www.-ee.uta.edu/Online/ebutlek/MEMS webpage/>.
8. <http://www.tu-harburg.de>.
9. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики — М.: Наука, 1966. - 724 с.
10. Боля Б., Уэйкер Дж. Теория температурных напряжений. — М.: Мир, 1964 — 520 с.
11. Беляев М.М., Рядно О.А. Математичні методи теплопровідності: Навч. посібник. К. Вища шк., 1992. — 415 с.
12. Исаченко В.П., Осипова В.А., Супомел А.С. Теплопередача. — Изд. 2-е. — М.: Энергия, 1969. - 440 с.

13. Зенкевич О. Метод конечных элементов в механике. — М.: Мир, 1975. — 524 с.
 14. Д. Норри, Ж. де Фриз. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 304с.

T. Kwater

University of Rzeszow. Institute of Technology, Rzeszow, Poland

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AS A TOOL OF CYCLOCONVERTER DIAGNOSTIC

© *Kwater T., 2003*

1. Introduction

Consideration of identification problem with using artificial neural networks (ANN) allows to receive fast answer about structure of object and values of its components parameters. Such approach in non invading way shorten process of analysis. ANN are modern tool which can be using in diagnostic and identification [7, 8]. Such realization base on analysis of signal containing information about diagnosed object. However it requires appropriate design of net and learning of proper reactions. The learning process can be realized base on results of simulations obtained from mathematical model. Of course models must as faithfully as possible reflect real behavior of object. Moreover continuous signals obtained from mathematical model usually have to be submit for additional processing in order to receive data which can be used in ANN learning. In that paper identification of condenser capacity in cycloconverter by proper chosen neural network is presented. Net was learned using Levenberga-Marquardt's method. Learning series was obtained by distribution current in orthogonal functions series. The purpose of this paper is presentation of ANN application in identification. Presented problems were part of University Grant, "Applying of artificial neural network to analysis, synthesis and diagnostics in electrical engineering", in 1998. Part of these solved problems were used in Ph. D. thesis. Future work should lead to design and build intelligent monitoring system of such electrical devices.

2. Model of cycloconverter

Model of cycloconverter requires transformer and semiconductor elements description by mathematical formulas. The simple way to describe thyristors is make assumption that it is short-circuit when is in conduct state and open in non-conduct state. Transformer usually are modeled basing on equations obtained by analysis of electric circuit. Seems, that using theory of electro-magnetic circuits is more convenient. Advantage of such approach are simpler mathematical equations describing device. Mathematical model can be obtained