

“Mixed Design of Integrated Circuits and Systems” (MIXDES’98). Lodz, Poland, 1998. P.143-146. **9.** Naylor T.H. (ed.) *The Design of Computer Simulation Experiments*. Duke University Press, N.C., 1979. **10.** Shannon R.E. *System Simulation. The Art and Science*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975. **11.** Breyfogle F.W. *Statistical Methods for Testing, Development and Manufacturing*. John Wiley & Sons, 1992. **12.** Horowitz P., Hill W. *The Art of Electronics*. Cambridge University Press, 1980. **13.** Автоматизация схемотехнического проектирования / В.Н. Ильин, В.Т. Фролкин, А.И. Бутко и др. / Под ред. В.Н.Ильина. М., 1987. **14.** Koval V.A., Farmaga I.V., Strojwas A.J., Director S.W. MONSTR: A Complete Thermal Simulator of Electronic Systems // Proc. of the 31<sup>st</sup> Design Automation Conference. San Diego, USA, 1994. P.570-575. **15.** Kazymyra I., Blyzniuk M. Model of ICs Schematic Vulnerability to Local Temperatures // Workshop “Microtechnology and Thermal Problems in Electronics” (MICROTHERM’2000). Proc. of the Int. Seminar Thermic’2000. Zakopane, Poland, 2000. P.131-135.

УДК 621.319.12

**М. Матвійків, Ю. Івасик**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра конструювання і технології виробництва радіоапаратури

## **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВНУТРІШНІХ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ПАРАМЕТРИ ІС**

© Матвійків М., Івасик Ю., 2001

**Запропоновано метод кількісної оцінки впливу внутрішніх механічних напружень на параметри інтегральних пристроїв на основі даних про вплив напружень на складові елементи інтегрального пристрою.**

Як відомо [1], параметрична надійність інтегральних пристроїв (ІП) визначається імовірністю знаходження електричних параметрів у межах допусків, визначених технічними умовами, під час періоду експлуатації. Тобто вихід будь-якого параметра за межі допусків буде означати його параметричну відмову.

Аналіз показує, що нині дослідження параметричної надійності найдоцільніше здійснювати для аналогових та лінійних ІП, оскільки в них параметричні відмови переважають над раптовими.

В [2] показано, що однією з вагомих причин зміни параметрів аналогових ІП є внутрішні механічні напруження (ВМН). Вони викликані конструктивними та технологічними особливостями ІП, які полягають у використанні шарів різних за властивостями матеріалів, що тісно контактують, та у великій різниці температур між різними процесами їх формування. ВМН мають різну спрямованість у шарах та знаходяться в межах  $10^7$ - $10^9$  Па. Напруження, котрі перевищують межу міцності матеріалів, призводять до руйнування елементів і відповідно до раптових відмов. Напруження, менші за значенням, що є в межах зони пружності, змінюють параметри елементів шарових структур за рахунок зміни міжатомних відстаней. Параметри елементів можуть змінюватись на 0,1–10 % [3]. Доходимо висновку, що параметри ІП від таких негативних впливів на елементи теж повинні змінюватись. Оскільки, згідно із технічними вимогами, вихідні параметри ІП мають бути у певних межах, то потрібно розрахувати залежність вихідних параметрів ІП від ВМН.

Метою цієї роботи є розроблення методу аналітичного розрахунку деформаційних змін параметрів ПІ. Для цього необхідно отримати математичний опис залежності вихідних параметрів ПІ від параметрів кожного його елемента.

Для описання такої залежності, враховуючи особливості конструкції, технології та схемотехніки аналогових ПІ, можна скористатись відомими методами розрахунку із теорії допусків [4]:

$$\frac{\Delta U_{\sigma}}{U_0} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta p_{i\sigma}}{p_{i0}}, \quad (1)$$

де  $U_0$  – номінальне значення вихідного параметра;  $p_{i0}$  – номінальне значення параметрів елементів;  $A_i = \frac{\partial U \cdot p_i}{\partial U_0 \cdot p_{i0}}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го елемента на параметр ПІ;  $\frac{\Delta U_{\sigma}}{U_0}$  – відносне відхилення від номіналу параметра ПІ, зумовлене ВМН;  $\frac{\Delta p_{i\sigma}}{p_{i0}}$  – відносне відхилення параметра  $i$ -го елемента ПІ, зумовлене ВМН.

Залежність параметрів пристрою від параметрів його складових елементів у загальному вигляді може бути описано функцією [5]:

$$U = f(p_1, p_2, \dots, p_n), \quad (2)$$

де  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – параметри елементів.

Зміна параметрів елементів на деяку величину  $\Delta p_i$  призведе до зміни вихідного параметра на  $\Delta U$ ;

$$U + \Delta U = f(p_1, p_2, \dots, p_n) + \frac{\partial f(p_1, p_2, \dots, p_n)}{\partial p_1} \cdot \Delta p_1 + \dots + \frac{\partial f(p_1, p_2, \dots, p_n)}{\partial p_n} \cdot \Delta p_n. \quad (3)$$

Віднявши звідси (2), маємо

$$\Delta U = \frac{\partial f(p_1, p_2, \dots, p_n)}{\partial p_1} \cdot \Delta p_1 + \dots + \frac{\partial f(p_1, p_2, \dots, p_n)}{\partial p_n} \cdot \Delta p_n. \quad (4)$$

Перейшовши до відносних величин, одержимо:

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \sum_{i=1}^n \frac{p_{i0} \cdot \partial f(p_1, p_2, \dots, p_n) \Delta p_i}{U_0 \cdot p_{i0} \cdot \partial p_i}. \quad (5)$$

Позначимо  $A_i = \frac{\partial f(p_1, p_2, \dots, p_n)}{\partial p_i} \frac{\Delta p_i}{U_0}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го елемента на вихідний параметр ПІ.

Звідси можна визначити відносні зміни вихідних параметрів ПІ

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta p_i}{p_{i0}} \quad (6)$$

тобто ми повернулись до формули (1).

Оскільки, згідно із [3]:

$$p_i = K_{i\sigma} \cdot \sigma \cdot p_{i0}, \quad (7)$$

то формула (6) буде враховувати відносну зміну вихідного параметра ПІ  $U$  від деформаційної зміни параметрів елементів  $p_i$ .

Крім того, слід враховувати те, що параметри елементів є випадковими величинами, які залежать від багатьох технологічних та конструктивних факторів. Тому необхідно розраховувати математичне сподівання та дисперсію вихідного параметра  $\Pi$   $m(U_0)$  та  $D(U_0)$ .

Існують два основні методи: числовий та Монте-Карло. Числовий застосовують тоді, коли  $D(U_0) < m(U_0)$  – передбачає підстановку у вирази математичних сподівань. Монте-Карло при  $D(U_0) > m(U_0)$  – передбачає підстановку випадкових значень параметрів елементів, взятих із функцій їх розподілу, побудови функцій розподілу  $W(U_0)$  та визначення  $m(U_0)$  і  $D(U_0)$ .

Вихідними даними для розрахунків мають бути функції розподілу імовірностей параметрів схемних та комутаційних елементів та еквівалентна електрична схема із аналітичним вираженням вихідних електричних параметрів  $\Pi$  через параметри елементів у вигляді (2).

Оскільки параметри елементів є випадковими величинами, то необхідно визначити математичне сподівання вихідних параметрів. За аналогією:

$$\frac{\Delta M}{M_0} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta m_i}{m_{i0}}, \quad (8)$$

де  $M, M_0, m_i, m_{i0}$  – математичні сподівання відповідних параметрів.

Дисперсію вихідного параметра можна визначити так [6]:

$$D^2(U) = \sum_{i=1}^n \frac{(U_i - M)^2}{n}, \quad (9)$$

де  $n$  – вибірка (кількість експериментів).

Формально  $U_i = U_0 + \Delta U_i$ ,  $M = M_0 + \Delta M$ , отже:

$$D^2(U) = \sum_{i=1}^n \frac{(U_{0i} - M_{0i} + \Delta U_i - \Delta M_i)^2}{n}. \quad (10)$$

Оскільки  $U_0 = M_0$ , то

$$D^2(U) = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta U_i - \Delta M_i)^2}{n}. \quad (11)$$

Тобто дисперсія зміненого під дією механічних напружень вихідного параметра буде визначатись розсіюванням величини цих змін. Однак при проведенні експериментів зручніше напевне буде користуватись загальновідомими формулами визначення дисперсії (9).

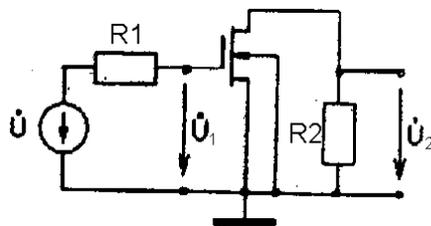


Рис. 1. Електрична принципова схема пристрою

Нами розрахована залежність зміни математичного сподівання коефіцієнта передачі елементарного підсилювального каскаду зі спільним витком (рис. 1). Каскад розміщено на ситаловій підкладці гібридної інтегральної схеми (ГІС). Резистори  $R_1, R_2$  з одного матеріалу (РС-3710), рівень ВМН та їх дія однакова на обидва резистори. Транзистор кріпиться до підкладки гнучкими виводами, які не спричиняють виникнення ВМН в тілі транзистора. Аналітичний вираз для коефіцієнта передачі [7]:

$$K_u = -S \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (12)$$

Коефіцієнти впливу відповідно дорівнюють:

$$\frac{k_2 \cdot R_2}{k_1 \cdot R_1 + k_2 \cdot R_2}, \quad (13)$$

$$\frac{k_1 \cdot R_1}{k_1 \cdot R_1 + k_2 \cdot R_2}. \quad (14)$$

Звідси відносна зміна коефіцієнта передачі підсилювального каскаду залежно від інтенсивності дії ВМН буде записана за допомогою такого виразу:

$$\frac{\Delta K_u}{K_{u0}} = \frac{k_2 \cdot R_2}{k_1 \cdot R_1 + k_2 \cdot R_2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_{10}} + \frac{k_1 \cdot R_1}{k_1 \cdot R_1 + k_2 \cdot R_2} \cdot \frac{\Delta R_2}{R_{20}}. \quad (15)$$

Графік залежності наведено на рис. 2. Лінійність впливу пояснюється простотою пристрою та тим, що для спрощення не враховувався вплив ВМН на активний елемент схеми, тому транзистор до підкладки кріпився за допомогою гнучких виводів.

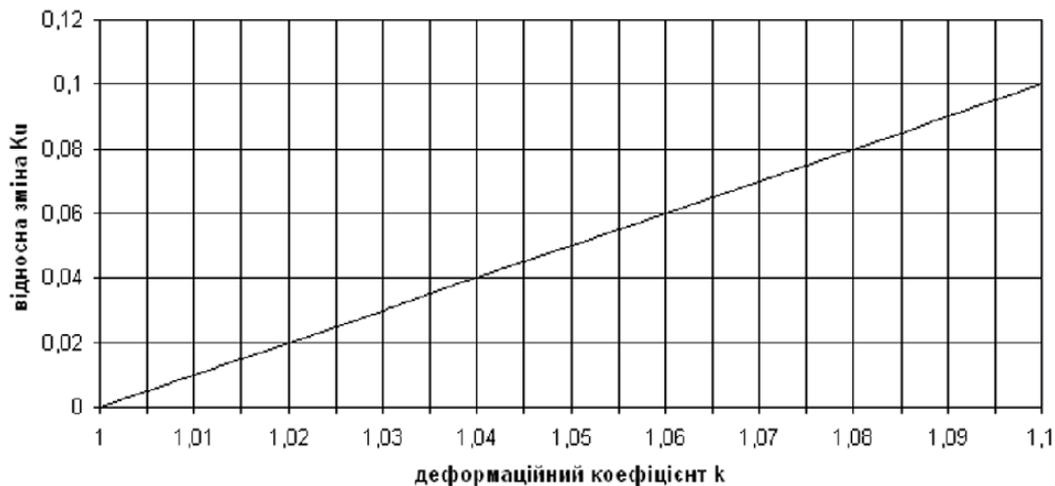


Рис. 2. Вплив ВМН на вихідний параметр П

Отже, запропоновано метод розрахунку впливу ВМН на параметри інтегральних пристроїв. Проведена цим методом попередня оцінка найпростішого підсилювального каскаду показала, що деформаційні зміни вихідного параметра становлять 0,5-10%. Це вказує на суттєвий вплив ВМН на параметри П та потребу подальших досліджень.

1. Кейджян Г.А. Прогнозирование надежности электронной аппаратуры на основе БИС", М, 1987. 2. Кулык Е.В., Матвийкив М.Д., Минав А.К. Влияние внутренних механических напряжений на стабильность тонкопленочных резисторов // Электронная техника. Сер.3. Вып. (2) 92. 1981. 3. Матвийкив М.Д. Паразитные деформационные эффекты в гетероструктурах гибридных интегральных микросхем / Деп. в ГНТБ Украины. 1996. № 554-УК96. 4. Фомин А.В., Балецкий В.В. Надежность радиоэлектронной аппаратуры. М., 1971. 5. Фролов А.Д. Радиодетали и узлы. М., 1975. 6. Шеремет Ю.М., Виборцик Д.М., Віхоть І.В. Статистичні методи аналізу технологічних процесів у радіоапаратобудуванні. Львів, 1996. 7. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи аналогової мікро схемотехніки". Львів, 1993.