

УДК. 621.382

І.Васильцов, канд.техн.наук

Тернопільська академія народного господарства

ОЦІНКА ШУМУ ОДНОЧАСНОГО ПЕРЕМИКАННЯ У МАТРИЧНИХ ВІС З КОМПЛАНАРНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ ШИН ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАЗЕМЛЕННЯ

У статті досліджується проблема побудови нової тривимірної моделі для оцінки параметрів шуму одночасного перемикавання. Розроблена математична модель внутрішньої кондуктивної завади у матричних ВІС з компланарною топологією шин живлення та заземлення. Дана модель використовується для розрахунку надійнісних показників цифрових пристроїв, побудованих на програмованих матричних ВІС. Використання цих моделей підвищує ефективність та зменшує терміни проектно-конструкторських робіт при розробці цифрових пристроїв із застосуванням матричних ВІС.

Вступ

Основною причиною неправильного функціонування сучасних цифрових пристроїв вважаються короточасні самозникні збої, інтенсивність появи яких на кілька порядків вища за інтенсивність появи відмов. Ці збої з'являються як результат дії внутрішніх електромагнітних паразитних шумів у кристалі великих інтегральних схем (ВІС) внаслідок одночасного перемикавання логічних елементів (ЛЕ). Саме тому виявлення ризику появи збою на ранній стадії проектування, а також корегування структури пристрою у випадку перевищення критичних значень є особливо актуальним завданням.

Метод оцінки функціональної надійності цифрових пристроїв, що базується на розрахунковому підході до побудови математичних моделей внутрішніх завад та оцінці їхніх характеристик з урахуванням конструктивно-технологічних параметрів ВІС, розглянутий у [1]. Використання цього методу передбачає оцінку параметрів внутрішніх завад, а також визначення відповідних довірчих інтервалів. Аналіз внутрішніх електромагнітних завад показує, що основною причиною зменшення запасу завадостійкості ЛЕ є кондуктивна завада [2, 3]. Вона зростає відповідно до струму внаслідок одночасного перемикавання ЛЕ та спричинює зменшення напруги живлення, прикладеної до ЛЕ. Це в свою чергу приводить до зменшення запасу завадостійкості ЛЕ.

Тому для оцінки параметрів внутрішніх електромагнітних завад слід розробити їх математичні моделі (ММ) для різних типів топології ВІС. Це дозволить розробникові аналізувати проєктований пристрій стосовно завад ще на ранніх стадіях проектування.

Модель під'єднання живлення у матричних ВІС з компланарною топологією

Для оцінки параметрів внутрішніх завад необхідно проаналізувати процес їх появи на основі відповідних еквівалентних схем. Такі схеми вже були побудовані авторами [4]. Вони використовувалися для розробки відповідних ММ внутрішніх завад. На основі отриманих співвідношень отримані моделі математичного сподівання та дисперсії. Проте отримані співвідношення описували тільки простий дво-вимірний випадок з урахуванням фізики перемикавання лише однієї стрічки у кристалі матричних ВІС, тоді як доволі часто розробник відчуває потребу оцінити розподіл електромагнітного поля цілого кристалу ВІС. Такі дані можна використати для порівняння з іншими розподілами (наприклад, з температурним розподілом), для визначення критичних областей кристалу з точки зору комплексного впливу як температури, так і внутрішніх електромагнітних завад одночасно.

Одним з критеріїв, за якими класифікують базові матричні кристали (БМК), є топологія розведення шин живлення та заземлення [5]. Для розведення компланарних шин заземлення та живлення необхідний лише один шар комутації. У результаті для тришарової металізації з'являється можливість переходу до безканалної структури БМК. Підведення джерела живлення до комірок матриці може бути індивідуальним або груповим, коли одна й та ж ділянка шини використовується для під'єднання декількох симетрично розміщених комірок. У такому випадку загальна кількість необхідних шин зменшується.

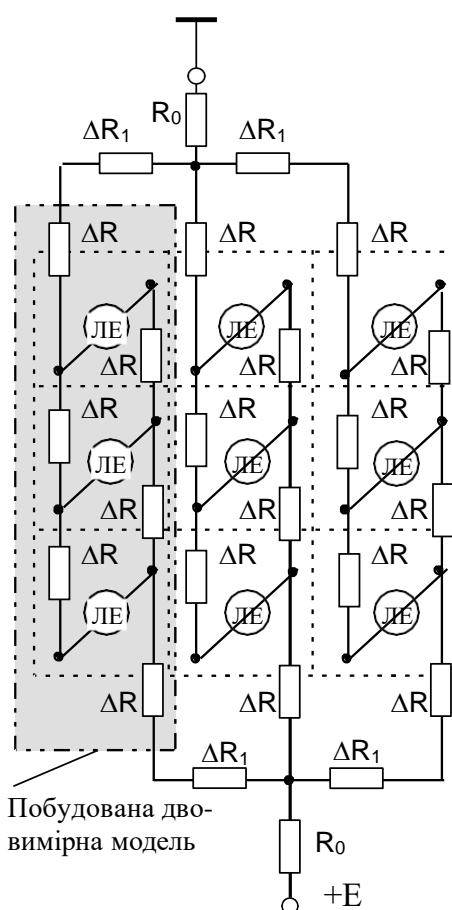


Рис. 1. Схема індивідуального під'єднання логічних елементів у базових комірках при компланарній топології шин живлення та заземлення: JE – логічний елемент; R_0 , ΔR_1 , ΔR – моделюють опір відповідних ділянок ліній живлення та заземлення (див. за текстом); E – джерело напруги живлення.

На рис.1 подана схема індивідуального під'єднання логічних елементів у базових комірках при компланарній топології шин живлення та заземлення. На рисунку прийняті такі позначення: R_0 моделює опір між джерелом напруги та лініями живлення та заземлення; ΔR_1 моделює опір горизонтальної частини ліній; ΔR моделює опір вертикальної частини ліній. Залежно від особливостей технологічного процесу виготовлення БМК ці три опори можуть бути однаковими або набирати довільних значень у заданому діапазоні. Для загального випадку приймаємо, що ці три опори мають різні значення.

Математична модель кондуктивної завади

Для побудови ММ внутрішньої кондуктивної завади використано класичні закони електрики. Відповідно до другого закону Кірхгофа напруга завади на будь-якому ЛЕ у кристалі БМК з компланарною топологією шин живлення та заземлення визначатиметься через спади напруг на опорах, увімкнених у замкнутий розрахунковий контур:

$$U_{k,l} = 2U_{R_0} + 2U_{\Sigma\Delta R_1} + U_{\Sigma\Delta R} = \\ = 2i_{R_0} \cdot R_0 + 2i_{\Sigma\Delta R_1} \cdot \Delta R_1 + i_{\Sigma\Delta R} \cdot \Delta R, \quad (1)$$

де U_{R_0} – спад напруги на опорі R_0 ;

$U_{\Sigma\Delta R_1}$ – спад напруги на всіх опорах ΔR_1 , увімкнених у розрахунковий контур;

$U_{\Sigma\Delta R}$ – спад напруги на всіх опорах ΔR , увімкнених у розрахунковий контур;

i_{R_0} – сила струму, що тече через опір R_0 ;

$i_{\Sigma\Delta R_1}$ – сила струму, що тече через опори ΔR_1 ;

$i_{\Sigma\Delta R}$ – сила струму, що тече через опори ΔR ;

k – порядковий номер стовпчика БМК, у якому знаходиться ЛЕ;

l – порядковий номер стрічки БМК, у якій знаходиться ЛЕ.

Значення опорів R_0 , ΔR_1 , ΔR можна визначити на основі конструктивно-технологічних параметрів кристалу БМК [1, 6]. Отже, для визначення напруги завади необхідно обчислити значення струмів, що протікають через кожен ділянку ліній живлення та заземлення. Ці значення залежать від стану ЛЕ у кожній комірці БМК. Приймаємо, що в стані логічної одиниці ЛЕ споживає номінальний струм, а в стані логічного нуля – струм через даний ЛЕ не тече. Таким чином, беручи до уваги співвідношення, отримані в [4], можна визначити напругу завади на довільному ЛЕ за формулою:

$$U_{k,l} = 2I_1 R_0 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ij} + 2I_1 \Delta R_1 \cdot \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=s}^S \alpha - j |x_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=p}^P \alpha - l |x_{ij} \right] + \\ + I_1 \Delta R \cdot \left[\sum_{i=1}^k i \cdot x_{il} + k \sum_{i=k+1}^N x_{il} + (N - k + 1) \sum_{i=1}^k x_{il} + \sum_{i=k+1}^N (N - i + 1) x_{il} \right], \quad (2)$$

де I_1 – номінальне значення струму ЛЕ в стані логічної одиниці;

N – кількість ЛЕ у стовпчику БМК;

M – кількість ЛЕ у стрічці БМК;

x_{ij} , x_{il} – визначають логічний стан ЛЕ і можуть приймати значення нуль або одиниця відповідно до логічного стану ЛЕ;

α – визначає порядковий номер середньої стрічки;

$$\alpha = \frac{M+1}{2}; \quad (3)$$

s, S – визначають номери першої та останньої стрічок між l -ою та середньою стрічками для здійснення ітеративної суми :

$$s = \begin{cases} l, & \alpha > l \\ \alpha, & \alpha \leq l \end{cases}; \quad (4)$$

$$S = \begin{cases} \alpha - 1, & \alpha > l \\ l, & \alpha \leq l \end{cases}$$

p, P – визначають номери першої та останньої стрічок між l -ою та останньою стрічками для здійснення ітеративної суми :

$$p = \begin{cases} 1, & \alpha > l \\ l, & \alpha \leq l \end{cases}; \quad (5)$$

$$P = \begin{cases} l - 1, & \alpha > l \\ M, & \alpha \leq l \end{cases}$$

Припускаючи, що імовірність появи усіх можливих станів ЛЕ в БМК є однаковою, визначимо математичне сподівання та дисперсію змінних x_{ij}, x_{il} :

$$M(x_{ij})=M(x_{il})=0,5; \quad D(x_{ij})=D(x_{il})=0,25.$$

Відповідно до таких значень математичне сподівання внутрішньої кондуктивної завади в матричних ВІС з компланарною топологією шин живлення та заземлення визначатиметься так:

$$M[U_{k,l}] = 2I_1R_0 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M M[x_{ij}] + 2I_1\Delta R_1 \cdot \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=s}^S \alpha - j |M[x_{ij}] + \sum_{i=1}^N \sum_{j=p}^P \alpha - l |M[x_{ij}] \right] +$$

$$+ I_1\Delta R \cdot \left[\sum_{i=1}^k i \cdot M[x_{il}] + k \sum_{i=k+1}^N M[x_{il}] + (N - k + 1) \sum_{i=1}^k M[x_{il}] + \right.$$

$$\left. + \sum_{i=k+1}^N (N - i + 1) M[x_{il}] \right] = I_1R_0 \cdot N \cdot M + I_1\Delta R_1 \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=s}^S \alpha - j \right] +$$

$$+ I_1\Delta R_1 \cdot N(P - p + 1) |\alpha - l| + I_1\Delta R \cdot \frac{2k(N - k + 1) + N^2 + 3N + 2}{4}$$
(6)

а дисперсія відповідно:

$$\begin{aligned}
 D[U_{k,l}] = & (2I_1 R_0)^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M D[x_{ij}] + (2I_1 \Delta R_1)^2 \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=s}^S |\alpha - j|^2 D[x_{ij}] + \sum_{i=1}^N \sum_{j=p}^P |\alpha - l|^2 D[x_{ij}] \right] + \\
 & + (I_1 \Delta R)^2 \cdot \left[\sum_{i=1}^k i^2 \cdot D[x_{il}] + k^2 \sum_{i=k+1}^N D[x_{il}] + (N - k + 1)^2 \sum_{i=1}^k D[x_{il}] + \right. \\
 & \left. + \sum_{i=k+1}^N (N - i + 1)^2 D[x_{il}] \right] = (I_1 R_0)^2 \cdot N \cdot M + (I_1 \Delta R_1)^2 \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=s}^S |\alpha - j|^2 \right] + \\
 & + (I_1 \Delta R_1)^2 \cdot N(P - p + 1) |\alpha - l|^2 + \left(\frac{I_1 \Delta R}{2} \right)^2 \left[k(k - N - 1) + 1 + \frac{2N^3 + 9N^2 + 13N}{6} \right]
 \end{aligned} \quad (7)$$

На основі отриманих моделей було проведено комп'ютерну симуляцію. Це дозволило визначити ЛЕ, що перебувають у найгірших умовах з точки зору впливу внутрішніх електромагнітних завод (рис.2-5). На рис.2, 3 зображено графіки розподілу математичного сподівання та дисперсії напруги кондуктивної завади у кристалі БМК для загального випадку, коли всі три опори R_0 , ΔR_1 , ΔR мають різні значення.

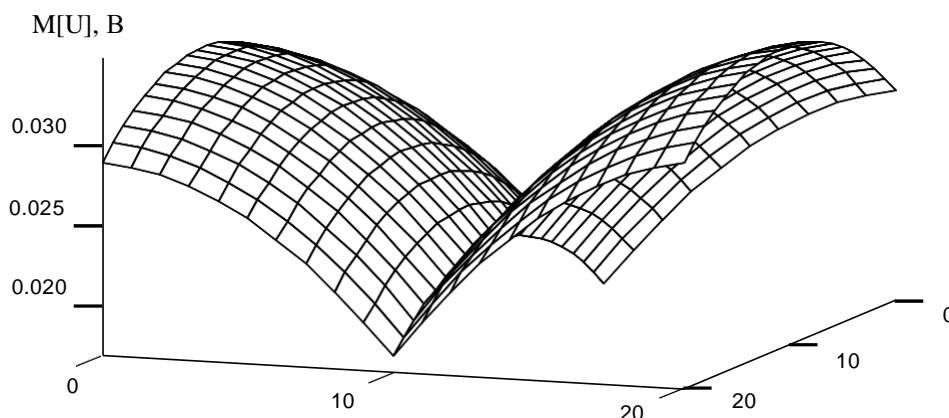


Рис.2. Розподіл математичного сподівання напруги кондуктивної завади у кристалі БМК з компланарною топологією шин живлення та заземлення (загальний випадок: $R_0 = 0.001 \text{ Ом}$, $\Delta R_1 = 0.01 \text{ Ом}$, $\Delta R = 0.1 \text{ Ом}$).

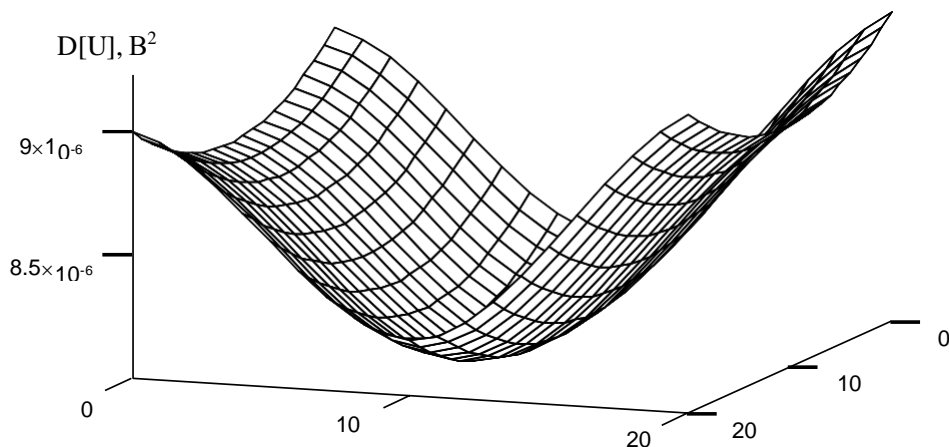


Рис.3. Розподіл дисперсії напруги кондуктивної завади у кристалі БМК з компланарною топологією шин живлення та заземлення (загальний випадок: $R_0 = 0.001 \text{ Ом}$, $\Delta R_1 = 0.01 \text{ Ом}$, $\Delta R = 0.1 \text{ Ом}$).

Для симуляції були використані такі параметри: $N=M=21$; $E=5$ В; $I_1=1$ мА; $R_0=0.001$ Ом; $\Delta R_1=0.01$ Ом; $\Delta R=0.1$ Ом. У найгіршому становищі знаходяться ЛЕ, розміщені якнайдалі від точки під'єднання до шин живлення. У цьому випадку це ЛЕ розміщені посередині зовнішніх стовпчиків у кристалі БМК. Для заданих параметрів розраховані максимальне та мінімальне значення математичного сподівання напруги кондуктивної завади: $\max(M[U])=30.5$ мВ; $\min(M[U])=11.9$ мВ.

На рис.4, 5 зображено графіки розподілу математичного сподівання та дисперсії напруги кондуктивної завади у кристалі БМК для часткового випадку, коли усі три опори R_0 , ΔR_1 , ΔR однакові. Для симуляції використані такі параметри: $N=M=21$; $E=5$ В; $I_1=1$ мА; $R_0=\Delta R_1=\Delta R=0.005$ Ом. Для заданих параметрів обчислені максимальне та мінімальне значення математичного сподівання напруги кондуктивної завади: $\max(M[U])=9.4$ мВ; $\min(M[U])=2.6$ мВ.

Аналіз графіків розподілу напруги кондуктивної завади виявляє, що співвідношення значень резисторів R_0 , ΔR_1 , ΔR еквівалентної розрахункової схеми (див. рис.1) впливає не лише на значення цієї завади та співвідношення між максимальним та мінімальним значенням, але також (що є суттєвим) на саму форму графіка розподілу. Цей феномен пояснюється тим, що, як видно з формули (2), кожен з опорів вносить свою частку впливу (відповідно до складової, до якої він належить) на загальне значення напруги завади. Зрозуміло, що чутливість остаточного значення напруги завади до цих складових різна, її можна визначити через часткові похідні формули (2).

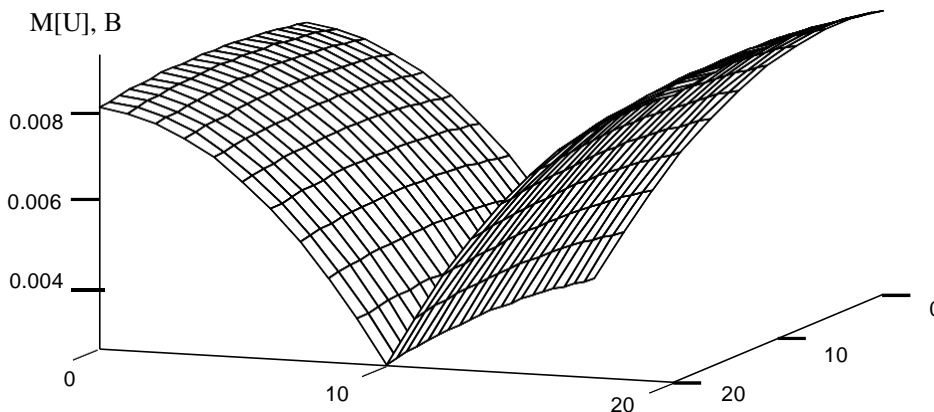


Рис.4. Розподіл математичного сподівання напруги кондуктивної завади у кристалі БМК з компланарною топологією шин живлення та заземлення (частковий випадок: $R_0 = \Delta R_1 = \Delta R = 0.005$ Ом).

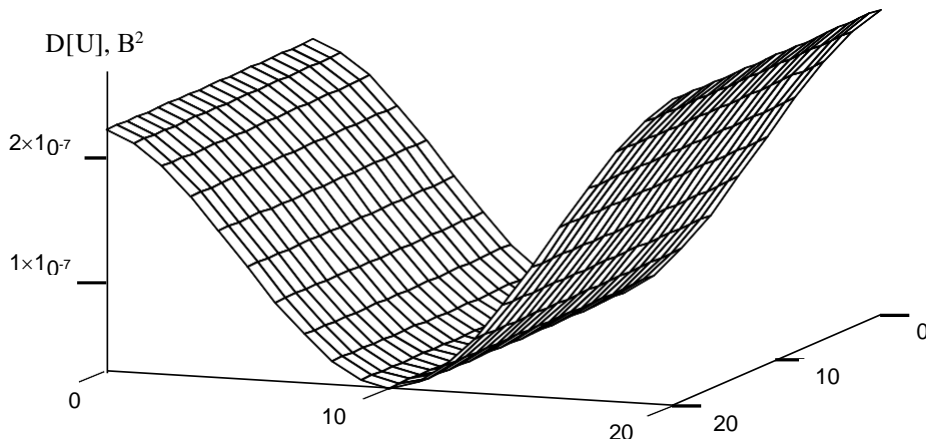


Рис.5. Розподіл дисперсії напруги кондуктивної завади у кристалі БМК з компланарною топологією шин живлення та заземлення (частковий випадок: $R_0 = \Delta R_1 = \Delta R = 0.005$ Ом).

Висновки

Для побудови математичних моделей використано аналітичний підхід. Отримані співвідношення дозволяють змістовно оцінити вплив електромагнітних завад, спричинених одночасним перемиканням ЛЕ. Результати роботи можна використати:

- 1) для визначення критичних областей у кристалі БМК з точки зору комплексного впливу внутрішніх завад та зовнішніх дестабілізаційних факторів (зокрема температури);
- 2) для вироблення рекомендацій щодо процедури розміщення компонентів ВІС на кристалі БМК (топологічний рівень проектування ВІС);
- 3) для проектування нових типів топологій, у яких різниця між максимальним та мінімальним значенням напруги завади не перевищуватиме заданого значення;
- 4) для визначення технологічних допусків на геометричні розміри шин живлення та заземлення при виготовленні БМК.

In this paper a problem of constructing a new three-dimensional calculation model for evaluating the parasitic electromagnetic noise is considered. The mathematical model of internal electromagnetic conductive noise for matrix VLSI with complanar topology of power supply feeding have been obtained. Obtained model have to be used when calculating the reliability parameters of designed digital devices constructed on programmable matrix VLSI. Usage of this model allow for designer to increase effectivity and decrease time-to-market parameter during developing of digital devices implemented on matrix VLSI.

Література

1. Bogdan A. Mandziy, Igor V. Vasiltsov. Problem of Reliability at Designing of Signals Processing Digital Devices. In Proc. of Intern. Conference TELSIKS'97, 8-10 October, 1997. - Nis, Yugoslavia.- P. 245-248.
2. Michael Gutzmann. Modellierung des Simultaneous Switching Noise von MOS-Ausgangs Treibern. *Facta Universitatis. Series: Electronics and Energetics.*- 1997.- Vol.10.- No.1. - P. 75-90.
3. Быстродействующие матричные БИС и СБИС. Теория и проектирование / Б.Н.Файзулаев, И.И.Шагурин, А.Н.Кармазинский и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 304 с.
4. Bogdan Mandzij, Igor Vasiltsov. Simulation of Simultaneous Switching Noise of Logic Gates in VLSI. In Proc. of XV Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits. - 22-24 September, 1998.- Liege, Belgium. - P. 224-226.
5. Проектирование топологии матричных БИС. Автоматизация проектирования БИС / Г.Г.Казеннов, Е.В.Сердобинцев. - М.: Высшая школа, 1990. - 112 с.
6. Мандзій Б.А., Желяк Р.І., Васильцов І.В. Оценка показателей функциональной надежности цифровых устройств систем обработки данных // ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ: Ежемесячный научно-технический журнал по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию.- 1997. - № 2. - С. 12-15.

Одержано 20.10.2000 р.