

М.В. Котик, В.В. Довгий, І.Т. Когут, В.І. Голота

Схемотопологічне моделювання КНІ КМОН кільцевих генераторів для сенсорних мікросистем-на-кристалі

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника»,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна, e-mail: mishanyakit@gmail.com

В статті наведено результати досліджень частотних та енергетичних характеристик кільцевих генераторів на основі «кремній-на-ізоляторі» КМОН транзисторних структур в залежності від їх схемотехнічної та конструктивно-технологічної реалізації, проектування і моделювання схем первинного перетворення інформації від інтегральних чутливих елементів для сенсорних мікросистем-на-кристалі.

Ключові слова: кремній-на-ізоляторі; кільцевий генератор; чутливий елемент; сенсорна мікросистема-на-кристалі.

Стаття постуила до редакції 20.09.2018; прийнята до друку 15.12.2018.

Вступ

Важливими елементами сенсорних мікросистем-на-кристалі (СМнК) є кільцеві генератори (КГ), що можуть бути використані як складові у схемах реєстрації інформації про зміни фізичних величин від різних типів сенсорних елементів (СЕ), зокрема ємнісних, резистивних, світлочутливих, транзисторного типу та інших. Окрім цього, кільцеві генератори є інформативним об'єктом для оцінки параметрів елементної бази з новими і малодослідженими технологіями та можуть бути джерелом імпульсних сигналів в інтегральних схемах і сенсорних мікросистемах-на-кристалі [1]. Аналіз існуючих мікроелектронних технологій показує, що найбільш перспективною конструктивно-технологічною базою для створення таких систем видаються структури «кремній-на-ізоляторі» (КНІ), які завдяки своїм переважаючим властивостям щодо електричних характеристик, споживаної потужності, стійкості до зовнішніх впливів (висока/низька температура, підвищений рівень радіації, сильні магнітні поля і т.д.) є суттєво кращими порівняно з відомими на об'ємному кремнії. Окрім того, КНІ-структури мають суттєві переваги як конструктивний матеріал для створення нових приладних елементів, в тому числі як і з новими тривимірними конструкціями, так і можливостями інтеграції з герметизованими або негерметизованими мікропорожнинами під поверхнею кремнієвої пластини [2]. Це відкриває додаткові перспективи

створення нових інтегрованих приладних структур і дозволить розширити функціональні можливості сенсорних мікросистем-на-кристалі, розширить сфери їх застосування.

В статті наведено результати схемотопологічного моделювання розроблених електричних схем, топології КГ генераторів на основі КНІ структур, що складаються з непарної кількості інверторів. Також досліджено частотні та енергетичні характеристики КГ залежно від їх схемотехнічної та конструктивно-технологічної реалізації. Спроектовано і промодельовано схеми первинного перетворення інформації від інтегральних чутливих елементів (ЧЕ) для СМнК.

При моделювання КГ були використані КНІ КМОН n- і p-канальні транзистори з топологічними розмірами $W = 10$ мкм, $L = 2$ мкм та $W = 20$ мкм, $L = 2$ мкм відповідно. У всіх досліджуваних схемах напруга живлення становила від 2,5 В до 5 В.

I. Моделювання частотних характеристик кільцевих генераторів

Електрична схема, топологія і тривимірне зображення структури КМОН КНІ кільцевого генератора на основі матричної комірки, що складається з п'ятьох з'єднаних між собою інверторів зображені на рис. 1 а, б, в.

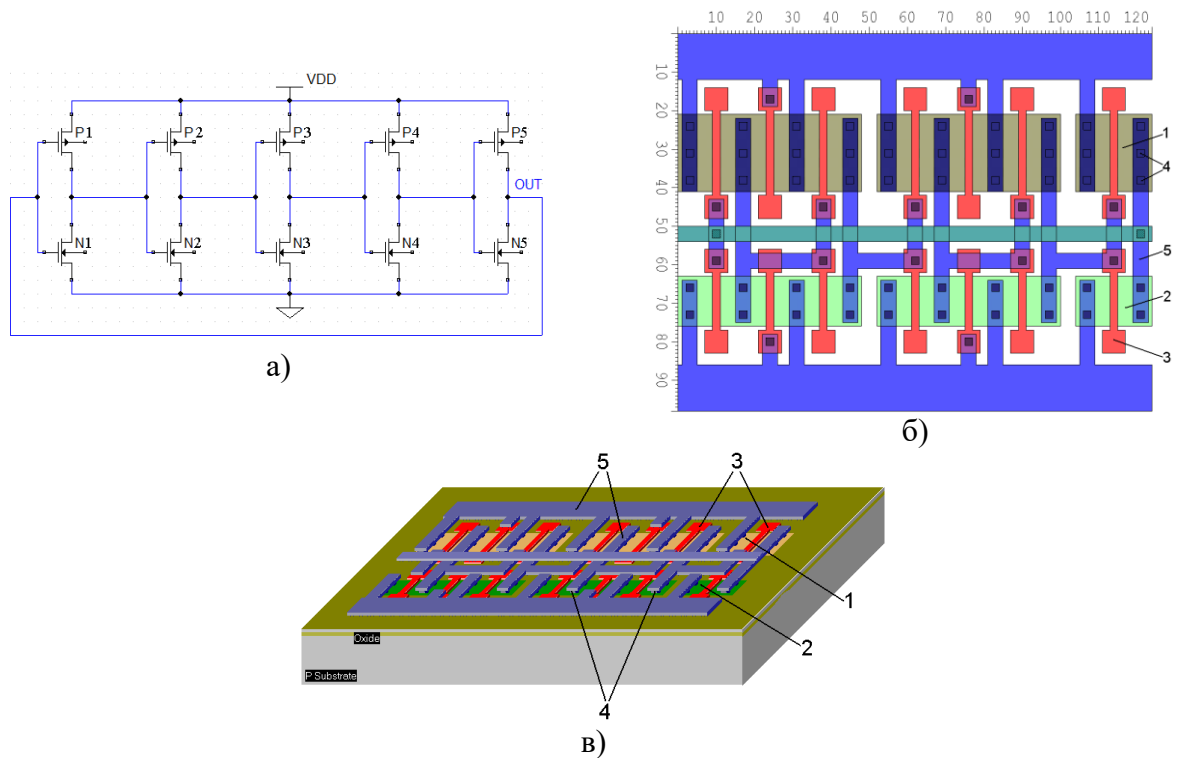


Рис. 1. Електрична схема (а), топологія (б) та тривимірне зображення (в) п'ятикаскадного кільцевого генератора на основі матричної комірки: 1, 2 – стік-виткові області р- і n-каналних КМОН КНІ транзисторів відповідно; 3 – полікремнієві затвори р- і n-каналних КМОН КНІ транзисторів; 4 – контакти; 5 – комутаційні з'єднання в шарі металізації.

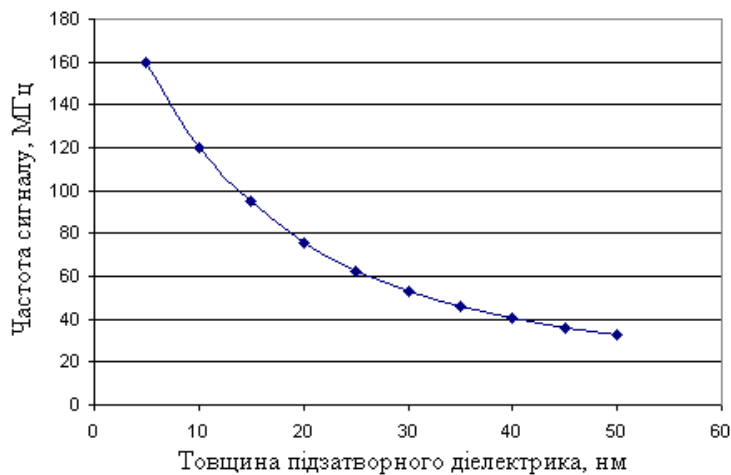


Рис. 2. Залежність частоти кільцевого генератора від товщини підзатворного діелектрика.

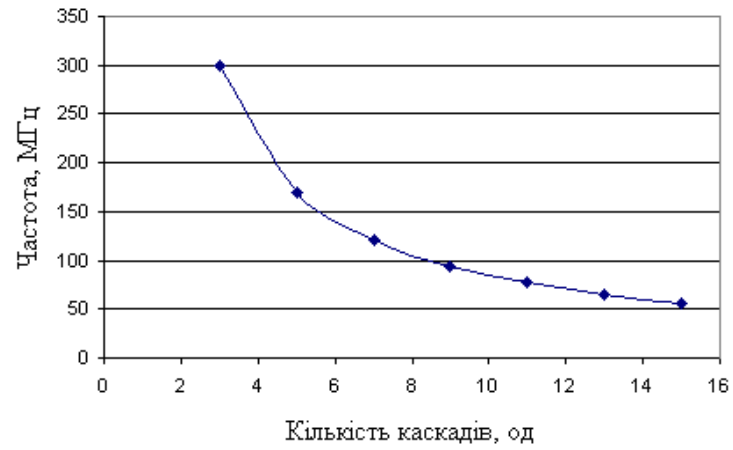
Таблиця 1

Результати моделювань КГ з різною кількістю послідовно-з'єднаних інверторів

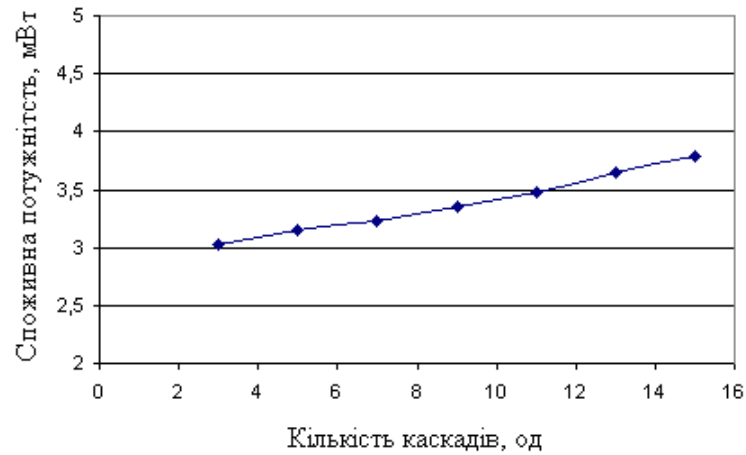
Кількість каскадів	Частота, МГц	Споживана потужність, мВт
3	300,00	3,025
5	170,00	3,149
7	120,00	3,229
9	94,05	3,350
11	76,88	3,483
13	65,02	3,644
15	56,30	3,790

Одним із факторів, що впливають на частотні характеристики кільцевих генераторів є товщина оксиду під затвором, яка визначає величину порогової напруги КНІ КМОН транзисторів. Результати комп'ютерного моделювання залежності частоти п'ятикаскадного кільцевого генератора від товщини оксиду для схеми рис. 1, а показано на рис. 2.

З результатів моделювання видно, що при збільшенні товщини оксиду під затвором від 5 нм до 50 нм, частота генерації кільцевого генератора зменшується з 160 МГц до 32,7 МГц внаслідок зменшення швидкості перемикання КНІ КМОН транзисторів.

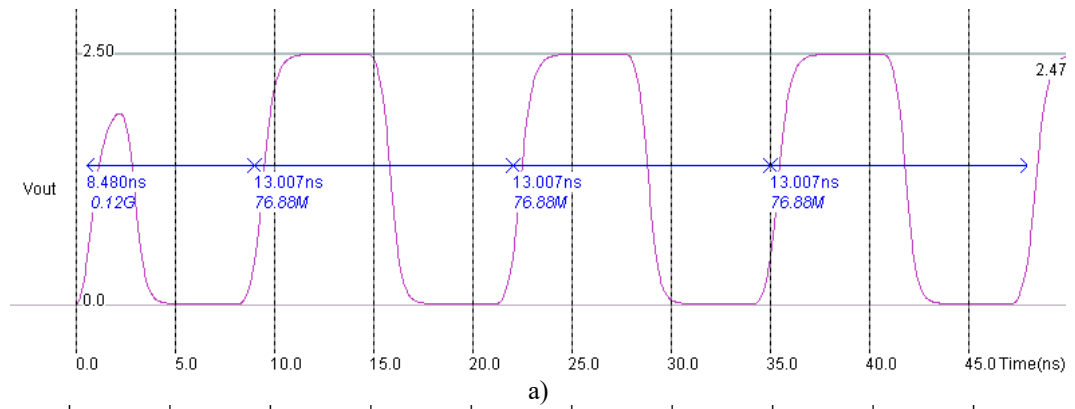


а)

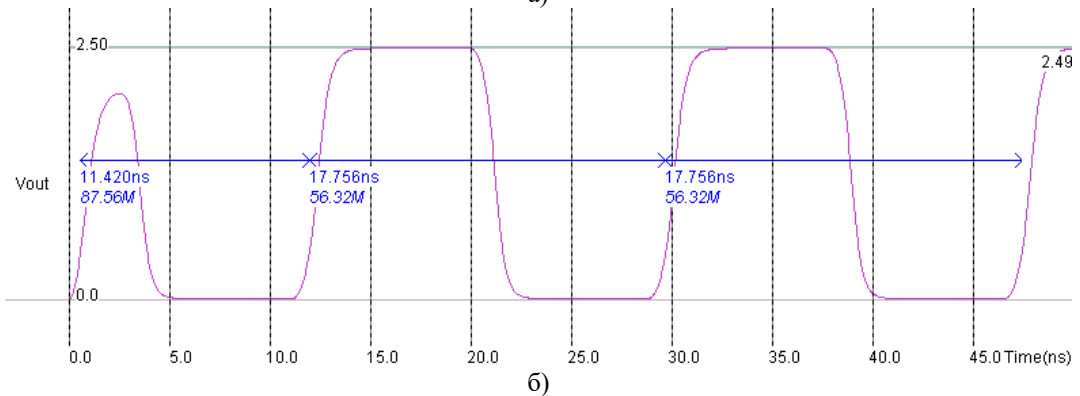


б)

Рис. 3. Залежність частоти (а) та споживаної потужності (б) від кількості інверторів кільцевого генератора.



а)



б)

Рис. 4. Результати схематологічного моделювання КГ, що складаються з 11-ти (а) і 15-ти (б) інверторів.

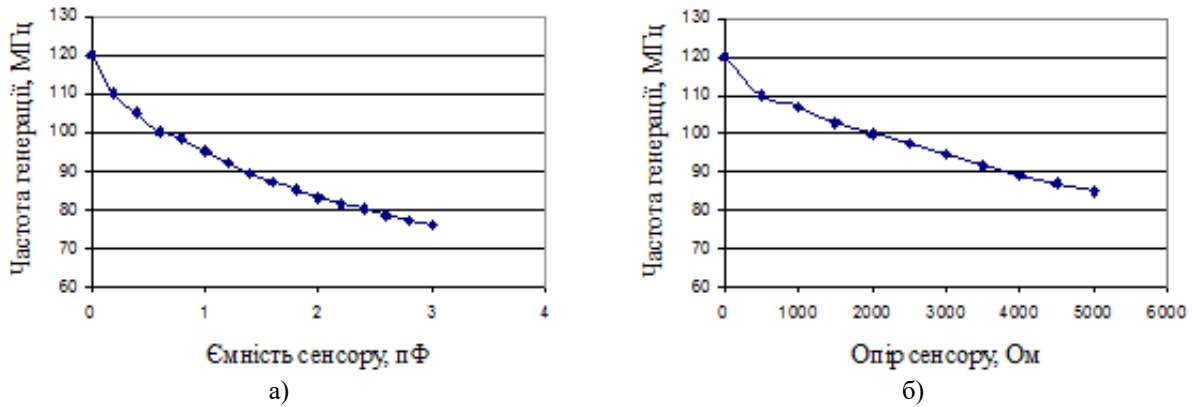


Рис. 5. Результати схемотопологічного моделювання ємнісного (а) та резистивного (б) чутливих елементів в складі КГ.

Для оцінки впливу кількості каскадів на робочу частоту було також досліджено КГ, що містять від трьох до п'ятнадцяти послідовно з'єднаних інверторів [3, 4]. Результати моделювань частотних та енергетичних характеристик КГ подано в табл. 1.

Залежність частоти генерованих сигналів та споживаної потужності від кількості інверторів зображено на рис. 3.

Як видно з табл. 1 та рис. 3, при збільшенні кількості інверторів КГ, частота генерованого сигналу зменшується. Це пов'язано з накопиченням затримок окремих інверторів. Окрім цього, при збільшенні кількості інверторів (починаючи з семи), генерований сигнал змінює свою форму з синусоїдальних до прямокутних імпульсів, що пояснюється формуючими властивостями послідовно з'єднаних інверторів.

Результати схемотопологічного моделювання КГ, що складається з 11 і 15 послідовно з'єднаних інверторів зображено на рис. 4.

Як видно з рис. 4, при збільшенні числа інверторів частота генерації зменшується.

Схеми КГ із числом досліджуваних інверторів від 7 до 15 із вказаними топологічними розмірами мають обмеження по частоті генерації прямокутних імпульсів в інтервалі від 120 до 300 МГц.

II. Вплив резистивних і ємнісних сенсорних елементів на частотні характеристики кільцевих генераторів

Було досліджено електричні схеми інтегральних сенсорів, що складається з 7-ми каскадного КГ та ємнісного і резистивного чутливого елемента відповідно, включених за схемами зі зворотнім зв'язком. При моделюванні цих схем безпосередньо із їх топологій використані конденсатори, утворені плівками метал-SiO₂-метал, метал-SiO₂-полікремній, полікремній-SiO₂-кремній-в-ізоляторі та резистори із полікремнієвих і дифузійних областей [5].

Для дослідних зразків мікросистем-на-кристалі можуть бути використані змінні чутливі ємності у вигляді рухомих мембран, балок, а також

конденсаторів гребінчастого типу, в яких ємність змінюється від впливу фізичного середовища, наприклад, тиску газів, температури, світлового випромінювання та ін. Результати схемотопологічного моделювання таких сенсорних елементів зображено на рис. 5, а, б. Як видно з наведених залежностей незначні зміни чутливих елементів спричиняють суттєві зміни частоти генерації КГ.

Висновки

Отримані результати схемотопологічного моделювання показують, що частотні характеристики кільцевих генераторів суттєво залежать від кількості інверторів та товщини підзатворного діелектрика КМОН КНІ транзисторів. Введення в склад кільцевих генераторів елементів, чутливих до змін ємності і/або опору дозволяє створювати високочутливі сенсорні схеми в інтегральному виконанні. Як показали результати моделювань незначна зміна ємності і/або опору чутливого елемента в складі схеми з кільцевим генератором призводить до суттєвої зміни частоти генерації. Наприклад, при зміні ємності від 1 пФ до 2 пФ частота генерації змінюється від 95 МГц до 83 МГц, що складає приблизно 10%. При зміні опору чутливого елемента від 1000 Ом до 1500 Ом частота генерації змінюється в межах 108 ÷ 102 МГц.

Отримані при моделюваннях результати можуть бути використані при проектуванні сенсорних мікросистем-на-кристалі з використанням кільцевих генераторів інтегрованих з чутливими елементами, наприклад сенсорами тиску, температури, світлочутливих елементів для неінвазивних глюкометрів та інших пристроїв зі структурами КНІ.

Котик М.В. - асистент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;

Довгий В.В. - к.т.н, провідний інженер;

Козут І.Т. - професор, д.т.н., завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;

Голова В.І. - доцент, к.т.н., кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки.

- [1] E. Sicard, S. Delmas Bendhia, Brooks/Cole Publishing Company 737, (2003).
- [2] I. T. Kogut, V. I. Holota, A. A. Druzhinin, V. V. Dovhij, Journal of Nano Research (Switzerland) 39, 228 (2015).
- [3] V. Dovhij, V. Holota, I. Kogut, Architecture development and elements simulation of analytical microsystem-on-chip with "silicon-on-insulator" structures. Proceedings of the 13th International Conference "TCSET'2016" (Lviv-Slavske, 2016). 368.
- [4] A. Druzhinin, Y. Khoverko, V. Dovhij, I. Kogut, V. Holota, Electrical and layouts simulation of analytical microsystem-on-chip elements for high frequency and low temperature applications. UkrMiCo'2016 (Kyiv, 2016). P. 29.
- [5] Web-source: <http://www.microwind.org>.

M.V. Kotyk, V.V. Dovgyi, I.T. Kogut, V.I. Holota

Schematic-Topological Modeling of the SOI CMOS Ring Oscillators for Sensor Microsystems on Chip

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57, Shevchenko st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine, e-mail: mishanyakit@gmail.com

The paper presents the results of research of frequency and energy characteristics of ring generators on the basis of silicon-on-insulator of the CMOS transistor structures, depending on their circuit design and constructive and technological implementation, design and modeling of the schemes of the primary transformation of information from integral sensitive elements for sensor microsystems-on-crystal

Keywords: silicon-on-insulator; ring generator; sensitive element; sensor microsystem on the chip.