

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНИХ ІНДУКТОРІВ ВІД БАЗОВОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДО ІНДУКТОРА ЛІАНГА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі наведено огляд існуючих досліджень щодо реалізації активної індуктивності на МОН-транзисторах, яку можна використовувати у генераторах керованих напругою (ГКН) замість спіральних або зовнішніх пасивних елементів які займають значну площу. Послідовний розвиток індукторів і порівняння їх характеристик дозволяє виявити кращого існуючого кандидата на даний час для реалізації ГКН.

Ключові слова: активна індуктивність, індуктор, гіратор, МОН-транзистор, ГКН, Лін-Пейн, Венг-Куо, Таначинонт-Пейн, Йодпрасіт-Нгармніл, Манетакіс, Ліанг.

Abstract

The paper provides an overview of existing studies on the implementation of active inductance on MOSFETs, which can be used in voltage-controlled oscillators (VCO) instead of spiral or external passive elements that occupy a significant area. Consistent development of inductors and comparison of their characteristics allows us to identify the best existing candidate for the realization of VCO.

Keywords: active inductance, inductor, gyrator, MOSFET, VCO, Lin-Payne, Weng-Kuo, Thanachayanont-Payne, Yodprasit-Ngarmnil, Manetakis, Liang.

Вступ

Останнє десятиліття стало свідком колосального зростання сфери зв'язку. Низьке енергоспоживання, низька вартість і великий об'єм вже давно стали нормою в індустрії інтегральних схем. Цифрові інтегральні схеми ґрунтуються на високому рівні інтеграції та масштабованості, який забезпечують КМОН-процеси, з ціллю підняти показники продуктивності, зберігаючи при цьому комплексні цінові переваги. Використання спіральних котушок індуктивності має ряд недоліків: велика площа кристалу, складність досягнення високих значень індуктивності у поєднанні з низькими значеннями добротності, а також не дуже ефективна геометрія, що перешкоджає їхньому використанню при високій щільності інтеграції [1]. Для того, щоб подолати ці недоліки, активні котушки можуть бути ефективно використані для досягнення таких цілей, як низька вартість, низька напруга живлення, відповідна робоча частота, які є важливими параметрами для проектування схем ГКН [2].

Результати дослідження

Порівняння продуктивності деяких топологій активних індукторів було детально проведено у роботі [3]. При моделюванні довжина каналу всіх NMOS і PMOS транзисторів була встановлена на рівні 200 нм, а ширина NMOS і PMOS встановлюється 10 мкм і 20 мкм відповідно. Напруга живлення 1,8 В. Порівняння проводилося на основі різних параметрів, таких як добротність, індуктивність, споживана потужність та саморезонансна частота. На рисунку 1 (а, б) показано зміну добротності Q для різних моделей.

На рисунку 2 (а, б) відображено зміну індуктивності. Вища частота зрізу / саморезонансна частота відображає кращі характеристики котушки індуктивності. Активна котушка індуктивності Венг-Куо є модифікованою версією котушки індуктивності Таначинонта-Пейна. Але обидва мають унікальну властивість розширювати частотний діапазон за рахунок каскадного МОН-транзистора. Але Венг-Куо пропонує ширший діапазон частот, ніж Таначинонт-Пейн, який становить 7,5 ГГц і 11,87 ГГц. Крім того, Венг-Куо є кращим за інші моделі, оскільки має властивість незалежного налаштування добротності та індуктивності, що стало можливим після введення в схему додаткового джерела струму в схемі.

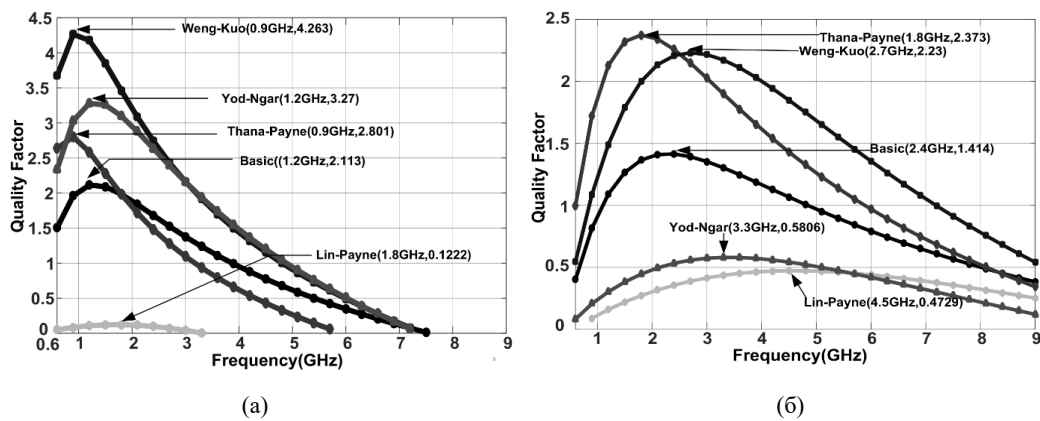


Рисунок 1 - Зміна добротності з частотою для різних моделей: з джерелом струму (а), з насиченим МОН-транзистором як джерелом струму (б) [3]

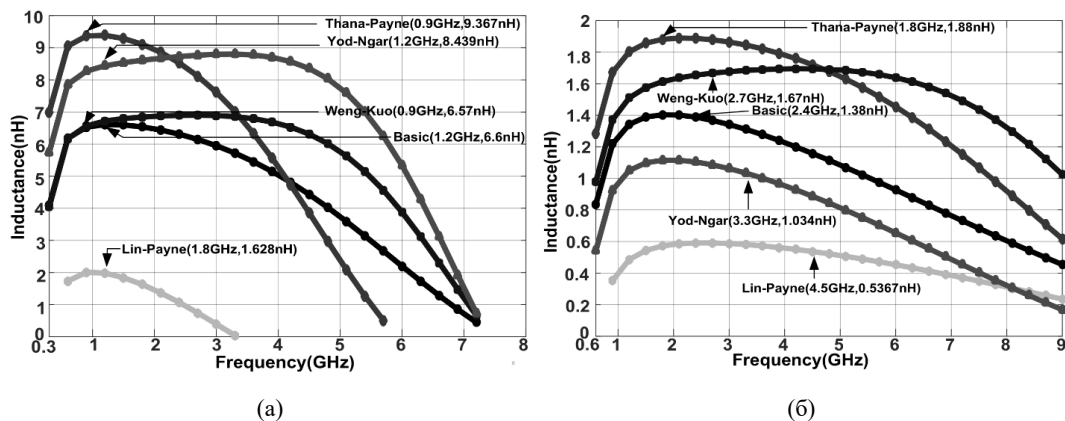


Рисунок 2 - Зміна індуктивності з частотою для різних моделей: з джерелом струму (а), з насиченим МОН-транзистором як джерелом струму (б) [3]

Хоча енергоспоживання цієї активної котушки індуктивності більше, ніж у Таначинонта-Пейна (1,08 мВт і 8,38 мВт, значення збільшується до 10,71 мВт через додаткове джерело струму), він має значні переваги завдяки підвищеній добротності з числовими значеннями 4,263 і 2,373.

У дослідженні робиться висновок щодо характеристик активного індуктора Венга-Куо можна віднести велике і більше за інших значення добротності, підвищена за рахунок додаткового джерела струму споживана потужність, але менша, ніж у Йодпрасіт-Нгармніл і Лін-Пейн, широкий діапазон частот, незалежна перестройка індуктивності та добротності, що обумовлює його як гарного кандидата у ролі основи для ГКН. Ці міркування підтверджуються у роботі [4], після серії моделювань автор наводить рисунок 3. Продуктивність активної котушки індуктивності Венга-Куо можна покращити, замінивши каскод на регульований. Ідея використання регульованого каскаду була представлена в [5]. Знову ж таки, вона була вдосконалена Ліангом, де був вбудований резистор зворотного зв'язку [6]. Аналіз обох випадків проведений у [7] наглядно демонструє різницю.

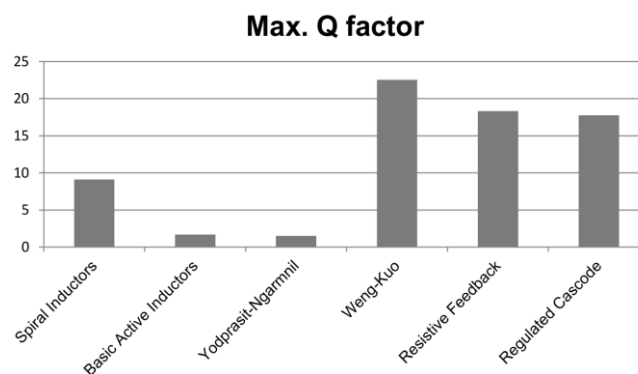


Рисунок 3 - Порівняння добротності деяких активних індукторів [4]

У регульованому каскаді Манетакіса використовується два МОН-транзистори M_3 і M_4 , що в кінцевому підсумку зменшує послідовний опір R_s і спричиняє приріст добротності [5]. Резистор зворотного зв'язку R_f призведе до подальшого покращення добротності за рахунок збільшення індуктивності [6], дві схеми наведено на рисунку 4 (а, б).

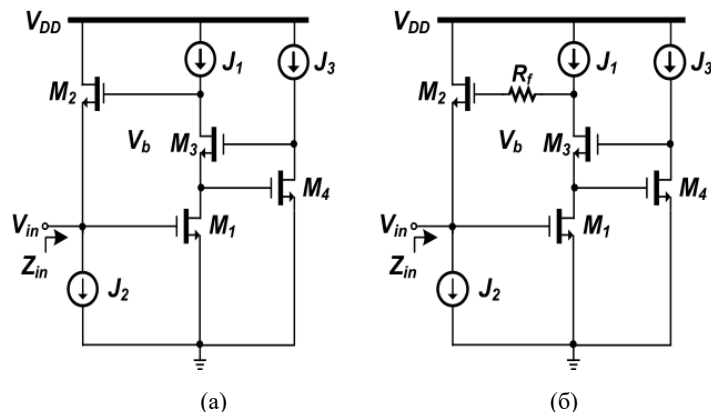


Рисунок 4 - Модифікований активний індуктор Венг Куо (а), Ліанга (б) [6]

Для отримання графіка індуктивності та добротності у статті було виконано моделювання S параметра. Резистор зворотного зв'язку становив 1 кОм. Напруга живлення $V_{DD}=1$ В і напруга зсуву $V_b=0,5$ В, результати наведені на рисунку 5 (а, б) [7]. Оскільки індуктивність збільшується в $(1+R_{f,g_{ds1}})$ кількісні значення максимальної індуктивності збільшуються у двох схемах. Споживана потужність дорівнює 474,1 мкВт для каскоду Венг-Куо і 429,9 мкВт для каскоду Ліанга,

Також було проведено дослідження зміни індуктивності запропонованої активної котушки індуктивності при зміні напруги настройки в діапазоні від 0,3 В до 0,9 В, рисунок 6 [7].

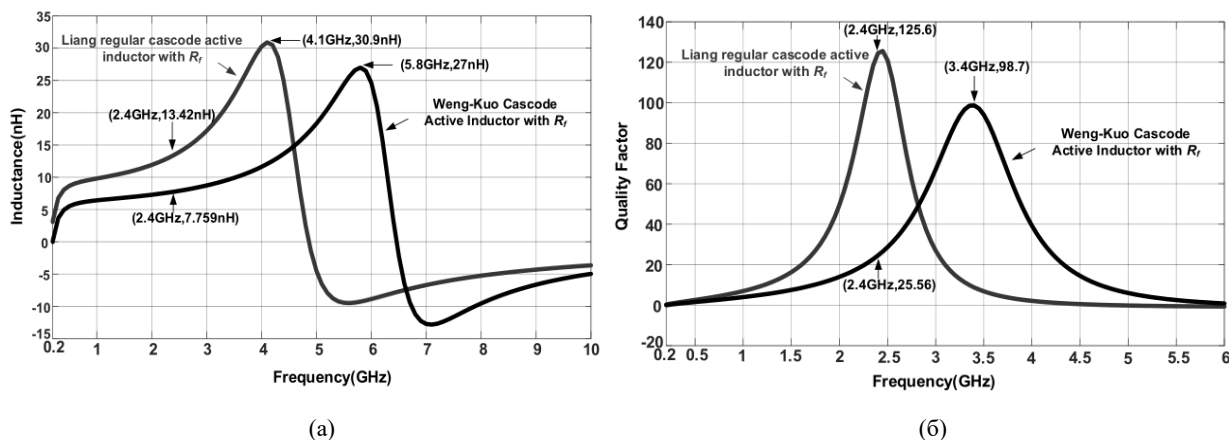


Рисунок 5 - Графік залежності індуктивності (а) і добротності (б) від частоти [7]

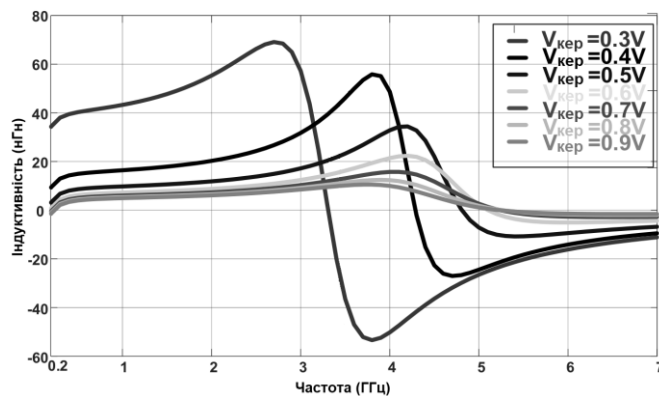


Рисунок 6 - Зміна індуктивності при зміні напруги керування елемента M_6 [7]

Висновки

Запропоновані варіанти активних індукторів містять свої переваги та недоліки і були отримані різними авторами під певні практичні задачі. Незначні зміни в схемі можуть призводити до суттєвого покращення усіх характеристик, наприклад використання насиченого МОН-транзистора як джерела струму, чи додавання одного резистора на затвор транзистора. Отримані дані свідчать що запропонована Ліангом схема активного індуктора краще інших аналогів і може бути використана для побудови ГКН, результати моделювання генератора створеного на базі даного індуктора наведено у [8].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Astro B.R. A PVT Compensated Active Inductor Based VCO on SOI CMOS Technology. National Institute for Astrophysics, Optics and Electronics, Tonantzintla, 2011, 123 p.
2. Yuan F. CMOS Active Inductors and Transformers. Boston, MA : Springer US, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-76479-5>
3. Comparative analysis and simulation of active inductors for RF applications in 90 nm CMOS / O. Faruqe et al. 2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), Khulna, 7–9 December 2017. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/eict.2017.8275233>
4. Dhuri R.S. Design of CMOS Active Inductors and their use in tuned narrowband and wideband-extension Low Noise Amplifier. Final Year Project. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2014. 81 p.
5. Wideband CMOS analog cells for video and wireless communications / K. Manetakis et al. Third International Conference on Electronics, Circuits, and Systems, Rodos, Greece. DOI: <https://doi.org/10.1109/icecs.1996.582784>
6. Liang K. H. CMOS RF Band-Pass Filter Design Using the High Quality Active Inductor. IEICE Transactions on Electronics. 2005. E88-C, no. 12. P. 2372–2376. DOI: <https://doi.org/10.1093/ietele/e88-c.12.2372>
7. Faruqe O., Amin M. T. Active Inductor with Feedback Resistor Based Voltage Controlled Oscillator Design for Wireless Applications. International Journal of Electronics and Telecommunications. 2023. URL: <https://doi.org/10.24425/ijet.2019.126283>
8. Семенов А.О., Хльоба А.А. Генератор керований напругою на основі активного індуктора Ліанга. IX Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СППРН-2023), 2023. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/spirn/spirn2023/paper/view/19190>

Хльоба Антон Анатолійович — аспірант, група 172-24а, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: hlobaanton@gmail.com

Науковий керівник: **Семенов Андрій Олександрович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Khloba Anton Anatolyevich — postgraduate student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: hlobaanton@gmail.com

Supervisor: **Semenov Andriy Oleksandrovych** — Dr. Sc. (Eng.), Full Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua