

**БАГАТОЧАСТОТНИЙ МОНОІМІТАНСНИЙ  
ЛОГІЧНИЙ R-ЕЛЕМЕНТ «НІ»**

Вінницький національний технічний університет

**Анотація**

В роботі запропоновано багаточастотний моноімпедансний логічний R-елемент "НІ", як інформаційний параметр якого використовується активний імпеданс. Розроблено математичну модель такого багаточастотного моноімпедансного логічного R-елемента «НІ», що реалізований в вигляді чвертьхвильового відрізка лінії передачі. Отримано таблицю істинності логічного R-елемента «НІ». Показано, що він має можливість роботи на різних частотах, що приводить до розширення функціональних можливостей.

**Ключові слова:** логічний елемент, таблиця істинності, відрізок лінії передачі, імпеданс.

**Abstract**

The paper proposes a multi-frequency monoimpedance logical R-element "NOT", which uses an active impedance as an information parameter. A mathematical model of such a multi-frequency monoimpedance logical R-element "NOT", developed in the form of a quarter-wave segment of the transmission line, was developed. The truth table of the logical R-element "NOT" was obtained. It is shown that it has the ability to work at different frequencies, which leads to the expansion of functionality.

**Keywords:** logical element, truth table, line segment, impedance.

**Вступ**

Більшість технічних рішень в області розробки радіочастотних логічних елементів базується на використанні нелінійних властивостей напівпровідникових приладів, що обмежує їх швидкодію і енергетичну ефективність [1, 2]. Новим напрямком побудови радіочастотних логічних елементів є використання принципу нечіткого імпеданса [3], коли логічний рівень визначається не кількісною величиною імпеданса, а тільки його характером, наприклад «0» - ємнісний  $X_C$ , «1» - індуктивний  $X_L$ .

Іноді доцільно характеризувати логічний стан імпедансами одного характеру (активний, ємнісний або індуктивний). Такі імпедансні логічні елементи відносяться до групи «моноімпедансних елементів». Логічні рівні визначаються межами зміни імпеданса. При цьому, при використанні тільки пасивних радіоелектронних компонентів істотно підвищується заводозахищеність та енергетична ефективність логічного елемента, оскільки відбуваються тільки енергетичні втрати на частоті сигналу. Відомі моноімпедансні логічні R-елементи [4 - 8] можуть працювати тільки на одній частоті, що обмежує функціональні можливості таких елементів.

**Основна частина**

Запропоновано створення багаточастотного моноімпедансного логічного R-елемента "НІ", який може працювати на різних частотах, що приводить до розширення функціональних можливостей схеми та підвищує швидкодію. Схема багаточастотного моноімпедансного логічного R-елемента «НІ» подана на рис. 1а. При роботі на частоті  $f_1$ , для якої  $l_1 = n \cdot \lambda_1 / 4$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ;  $\lambda_1$  - довжина електромагнітної хвилі вхідного сигналу на частоті  $f_1$ ), ключі  $K_2$  та  $K_3$  переводяться в верхнє положення, та відрізок лінії передачі  $l_1$  можна розглядати як перетворювач опору, вихідний опір  $R_{вих}$  якого залежить від вхідного опору  $R_{вх}$ , і визначається виразом (1) [9].

$$R_{\text{вих}} = Z_0 \cdot \frac{R_{\text{вх}} + j \cdot Z_0 \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{2\pi f_1 \sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}} l_1}{c} \right)}{Z_0 + j \cdot R_{\text{вх}} \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{2\pi f_1 \sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}} l_1}{c} \right)} \quad (1)$$

Якщо довжина цього відрізка лінії передачі складає  $l_1 = \lambda_1/4$ , тоді вихідний опір буде визначатись виразом:

$$R_{\text{вих}} = Z_0^2 / R_{\text{вх}} \quad (2)$$

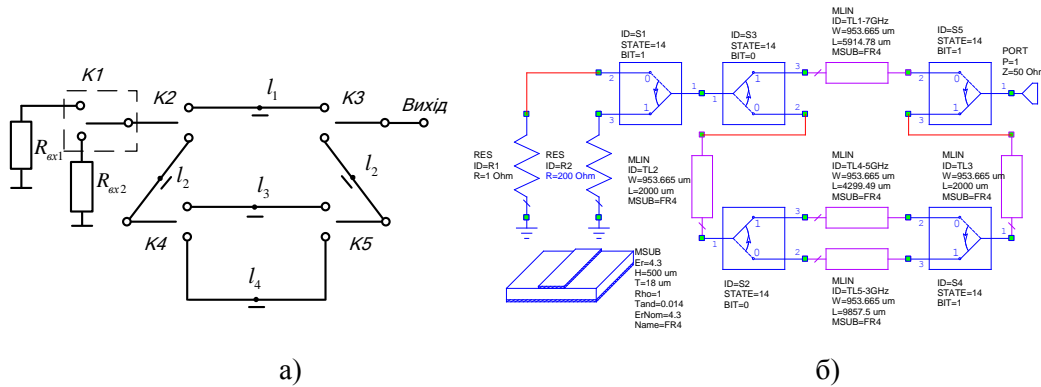


Рисунок 1 – Схема електрична (а) та схема для комп'ютерного моделювання (б) багаточастотного моноімпідансного логічного R-елемента «НІ»

З виразу (2) видно, що якщо вхідний імпіданс має чисто активний характер і до входу відрізка лінії передачі  $l_1$  через ключ  $K1$  підключається імпідансний двополіусник з імпідансом  $R_{\text{вх}1} < Z_0$  (що відповідає логічному нулю на вході), то імпіданс на виході пристрою  $R_{\text{вих}} > Z_0$  (що відповідає логічній одиниці на виході), а якщо до входу відрізка лінії передачі  $l_1$  через  $K1$  підключається імпідансний двополіусник з імпідансом  $R_{\text{вх}2} > Z_0$  (що відповідає логічній одиниці на вході), то імпіданс на вихідній клемі  $R_{\text{вих}} < Z_0$  (що відповідає логічному нулю на виході).

Отже, представлені логічні рівні відповідають таблиці істинності імпідансного логічного елемента НІ.

При роботі на частоті  $f_2$  ключі  $K2$  та  $K3$  переводяться в нижнє положення, а  $K4$  та  $K5$  – в верхнє.

При цьому сума довжин лінії передачі буде  $2l_2 + l_3 = \frac{n \cdot \lambda_2}{4}$ , де  $\lambda_2$  - довжина електромагнітної хвилі вхідного сигналу на частоті  $f_2$ . При цьому нова лінія, утворена двома відрізками з довжиною  $l_2$  та відрізком з довжиною  $l_3$ , також являє собою перетворювач опору і для неї справедливі формули (1) та (2).

При роботі на частоті  $f_3$  ключі  $K2$ ,  $K3$ ,  $K4$  та  $K5$  переводяться в нижнє положення. При цьому сума довжин лінії передачі буде  $2l_2 + l_4 = \frac{n \cdot \lambda_3}{4}$ , де  $\lambda_3$  - довжина електромагнітної хвилі вхідного сигналу на частоті  $f_3$ . При цьому нова лінія, утворена двома відрізками з довжиною  $l_2$  та відрізком з довжиною  $l_4$ , також являє собою перетворювач опору і для неї справедливі формули (1) та (2).

Отже, запропонований пристрій виконує роль логічного елемента НІ та, при цьому, може працювати на різних фіксованих частотах.

## Комп'ютерне моделювання

Комп'ютерне моделювання проводилось з використанням прикладного пакету AWR Microwave Office 13. Схема для моделювання, зібрана в цьому пакеті, зображена на рис. 1б.

За підкладку, на якій виконано досліджуваний елемент, використано склотекстоліт товщиною 500 мкм, діелектричною проникністю 4,3, тангенсом кута діелектричних втрат 0,014 та товщиною мідної плівки 18 мкм. Моделювання проводилось для частот: 3 ГГц, 5 ГГц, 7 ГГц. Відповідно до цих значень було розраховано ширину та довжину кожної лінії передачі так, щоб її сумарна довжина була кратна  $\lambda/4$ . За значення ширини для кожної лінії передачі було обрано найбільше із розрахованих значень, а саме 953,655 мкм.

Також було отримано графіки залежності активного, реактивного та повного опорів від частоти для різних значень вхідного опору, що відповідають рівням логічного «0» та логічної «1». За рівень логічного «0» на вході взято значення опору 15 Ом, а для логічної «1» - 200 Ом. Нижче подано частотні залежності активного, реактивного та повного опорів на робочій частоті 3 ГГц при вхідному опорі, що відповідає рівню логічної «0» (рис.2) та при вхідному опорі, що відповідає рівню логічного «1» (рис. 3).

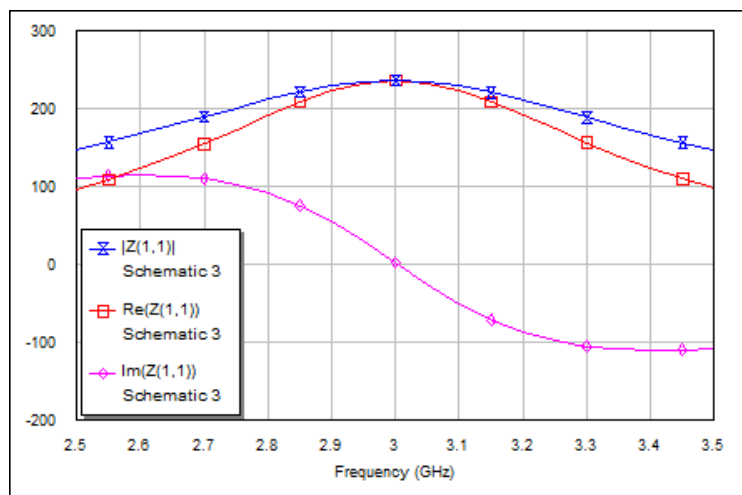


Рисунок 2 – Частотна залежність активного, реактивного та повного опорів при вхідному опорі, що відповідає рівню логічного «0», та робочій частоті 3 ГГц

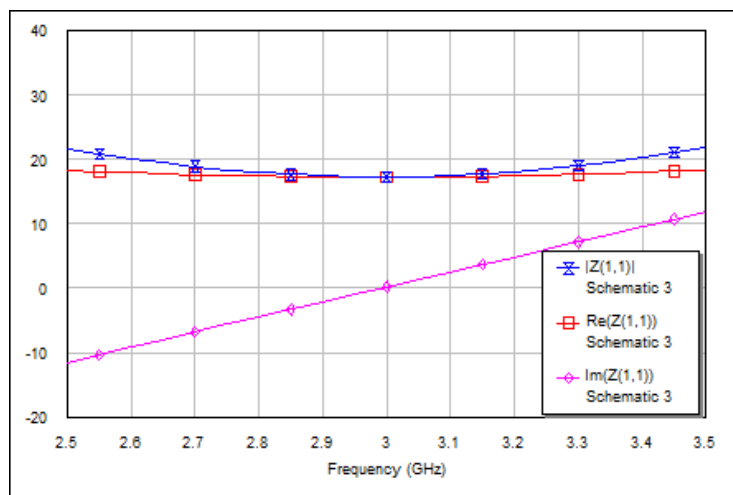


Рисунок 3 – Частотна залежність активного, реактивного та повного опорів при вхідному опорі, що відповідає рівню логічної «1», та робочій частоті 3 ГГц

З наведених графіків видно, що при вхідному опорі 15 Ом, вихідний опір становить близько 240 Ом на частоті 3 ГГц, та знаходиться в межах логічної одиниці в діапазоні частот від 2,7 ГГц до

3,3 ГГц. При вхідному опорі 200 Ом, вихідний опір становить близько 16 Ом на частоті 3 ГГц, та знаходиться в межах логічного нуля в діапазоні частот від 2,7 ГГц до 3,3 ГГц.

Аналогічні графіки отримано для частот 5 ГГц та 7 ГГц.

## Висновки

Запропоновано схему багаточастотного моноімітансного логічного R-елемента «НІ», як інформаційний параметр якого використовується активний імітанс. Багаточастотний моноімітансний логічний R-елемент «НІ», реалізований в вигляді чвертьхвильового відрізка лінії передачі, може працювати на різних фіксованих частотах, що приводить до розширення його функціональних можливостей.

Проведене комп'ютерне моделювання підтвердило адекватність розробленої математичної моделі логічного елемента. Отримані графіки показують забезпечення рівнів логічного «0» та логічної «1» в певному діапазоні частот.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Торчигин В. П. Оптические логические элементы на основе нелинейных интерференционных фильтров / Торчигин В. П. - Квант. электроника, т. 19, № 6, 1992.
2. Кичак В. М. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки: монографія / В. М. Кичак, О.О. Семенова – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163с.
3. Ліщинська Л.Б. Імітансна логіка. – Міжн. науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія”/ Ліщинська Л.Б., Філінюк М.А. – 2010, №2(18).
4. Філінюк М. А. Моноімітансний логічний R-елемент «НІ» / М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська, О. В. Войцеховська, В. П. Стахов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія - 2015. - № 2. – с. 71-76.
5. Філінюк М. А. Иммитансный полусумматор / М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська, О. О. Лазарев, В. П. Стахов // Міжнародний науково-технічний журнал "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" – 2017. - № 2, С. 97-100.
6. Білінський Й. Й. Пасивний радіочастотний моноімітансний передавач / Й. Й. Білінський, О. О. Лазарев, В. П. Стахов // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2017. – №3, С. 114 – 118.
7. Філінюк М. А. Иммитансный сумматор / М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська, О. О. Лазарев, В. П. Стахов // «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія», №3 – Вінниця, ВНТУ. – С. 69-71.
8. Иммитансные логические элементы и устройства: монография / Н. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська, А. А. Лазарев и др. ; под общей ред. Н. А. Філінюка. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 188 с.
9. Vikas Shukla. Signal Integrity for PCB Designers / Reference Designer; 1st edition – 2009 - 265 p. - ISBN-13: 978-0982136904

**Войцеховська Олена Валеріївна** — к.т.н., доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vojcehovska.o.v@vntu.edu.ua](mailto:vojcehovska.o.v@vntu.edu.ua).

**Лазарев Олександр Олександрович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [lazarev.vntu@gmail.com](mailto:lazarev.vntu@gmail.com).

**Паламарчук Роман Петрович** — студент групи ТКП-156, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [rporitskiy@gmail.com](mailto:rporitskiy@gmail.com).

**Voytsekhovska Olena V.** — Ph.D., assistant professor, Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vojcehovska.o.v@vntu.edu.ua](mailto:vojcehovska.o.v@vntu.edu.ua).

**Lazarev Alexander A.** — Ph.D., assistant professor of the Department of Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [lazarev.vntu@gmail.com](mailto:lazarev.vntu@gmail.com).

**Palamarchuk Roman P.** — Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rporitskiy@gmail.com](mailto:rporitskiy@gmail.com).