

УДК 621.396.6

Й. Й. Білинський¹
В. П. Стахов¹**ПАСИВНІ РАДІОЧАСТОТНІ ТРАНСПОНДЕРИ З
МОНОІМІТАНСНИМИ ЛОГІЧНИМИ СХЕМАМИ**¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано схеми пасивних радіочастотних транспондерів, які використовують такі моноімітансні схеми: логічний елемент «I», масив логічних елементів «НЕ», масив логічних елементів «НЕ» з різними хвильовими опорами, масив суматорів по модулю 2, шифратор та пріоритетний шифратор. Проведено комп'ютерне моделювання цих схем у програмному пакеті AWR Microwave Office 9.00, яке підтверджує їх працездатність.

Ключові слова: пасивний радіочастотний транспондер, моноімітансна логіка.

Вступ

Пасивні радіочастотні транспондери та сенсори на їх основі, побудовані з використанням чипів, отримали широке застосування. Для виконання логічних операцій або обчислень за допомогою чіпа, на транспондер має надійти сигнал достатньої потужності. Зменшення необхідної потужності сигналу для функціонування обчислювальної системи транспондера є важливою задачею у цій галузі. Однак напівпровідникова логіка, яка використовується у чіпах, накладає обмеження на зменшення потужності вхідного сигналу. Тому актуальним завданням є побудова ефективних пасивних радіочастотних транспондерів, які б працювали за низької потужності вхідного сигналу, що дало б можливість зменшити потужність опитувачів або збільшити радіус дії транспондерів [1].

Одним з варіантів розв'язання поставленої задачі може бути використання моноімітансної логіки у радіочастотних транспондерах, що може забезпечити виконання простих логічних операцій, використовуючи при цьому живлення від сигналу опитувача малої потужності. Крім того, їх перевагою є висока завадозахищеність, бо в якості інформаційного параметра використовується іммітанс кола без прив'язки до його кількісного значення; висока швидкодія, бо моноімітансні логічні схеми не використовують активні елементи, завдяки чому перехідні процеси перемикавання активних елементів відсутні, а також простота технології виготовлення, що може значно знизити ціну моноімітансних транспондерів порівняно з транспондерами на мікросхемах [2], [3]. На сьогодні вже розроблені пасивні радіочастотні передавачі, сумісні з моноімітансною логікою [4]. Такі передавачі працюють на НВЧ частоті, що забезпечує їх швидкодію і велику дальність дії, а також дозволяє сумістити частотні діапазони роботи передавача і моноімітансних логічних схем.

Метою роботи є наведення прикладів використання різних моноімітансних логічних схем у пасивних радіочастотних транспондерних системах, а також результатів комп'ютерного моделювання для підтвердження їх дієздатності.

Результати дослідження

Транспондер з моноімітансним логічним елементом «I» може бути використаний для індикації зміни стану всіх об'єктів у системі. Прикладом такого використання може бути контроль справності елементів системи. Моноімітансний логічний елемент «I» може мати необмежену кількість входів і один вихід. Структурна схема пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним логічним елементом «I» зображена на рис. 1:

Передавач містить у своєму складі амплітудний детектор, перетворювач напруги в опір, подільник напруги, приймальну і передавальну антену [5]. Так як цей передавач інвертує сигнал, то

для отримання неінвертованого сигналу на виході транспондера тут і надалі до моноімітансної логічної схеми додається логічний елемент «НІ», що здійснює інверсію сигналу. Поріг спрацювання моноімітансного логічного елемента «І» може бути встановлений за допомогою задання опору резистора R .

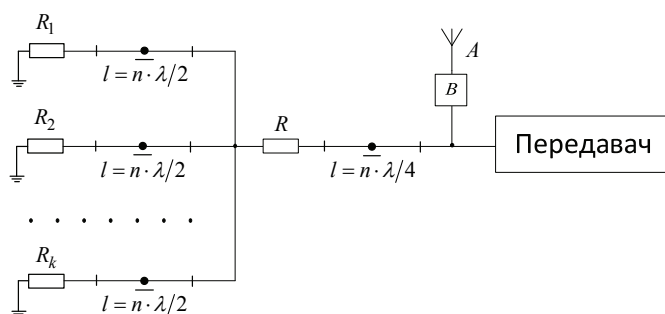


Рис. 1. Структурна схема пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним логічним елементом «І» з трьома входами

За допомогою комп'ютерного моделювання у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00 роботи схеми пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним логічним елементом «І» з трьома каналами отримані значення напруги на вихідному каналі в залежності від логічних значень опору на вхідних каналах. Для моделювання тут і надалі як логічний «0» використовувався опір 5 Ом, як логічна «1» — опір 150 Ом. Для наочності вибрана напруга живлення на приймальній антені 3 В та частота сигналу 1 ГГц. Результати моделювання показані на графіку на рис. 2:

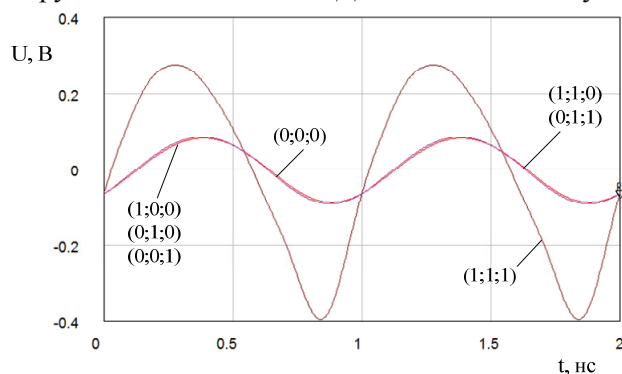


Рис. 2. Осцилограми вихідної напруги за умови різних логічних станів на входах схеми пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним елементом «І» з трьома входами

З графіків на рис. 2 випливає, що рівні напруги на виході пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним логічним елементом «І» з трьома входами відповідають таблиці істинності логічного елемента «І»: для вхідних логічних станів (1;1;1) амплітуда вихідної напруги дорівнює 400 мВ, що відповідає логічній «1», для всіх інших вхідних логічних станів вихідна напруга складає 85 мВ, що відповідає логічному «0».

Транспондер з масивом моноімітансних логічних елементів «НІ» може бути використаний для визначення стану певного об'єкта системи. Для контролю певного об'єкта системи може бути використаний сигнал визначеної частоти. Можлива схема реалізації такого транспондера зображена на рис. 3.

Транспондер з масивом моноімітансних логічних елементів «НІ» може бути використаний для визначення стану певного об'єкта системи. Для контролю певного об'єкта системи може бути використаний сигнал визначеної частоти. Можлива схема реалізації такого транспондера зображена на рис. 3.

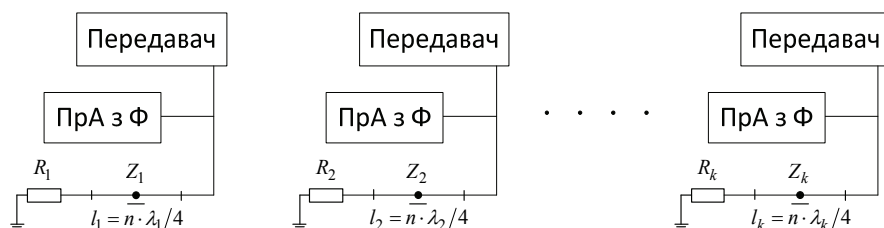


Рис. 3. Структурна схема пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансними логічними елементами «НІ»

На рис. 3 ПрА з Ф — приймальна антена з фільтром, який пропускає тільки сигнал визначеної частоти. Кожний елемент «НІ» має довжину відрізка лінії передачі l_n , розраховану як $\lambda/4$ від довжини хвилі сигналу, який подається на цей елемент. Таким чином, за допомогою такого транспондера можливе почергове або одночасне опитування кожного елемента системи.

Моделювання роботи схеми пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з елементами «НІ» показало, що за логічної «1» (150 Ом) на вході схеми отримуємо напругу 1,63 В на виході, а у разі логічного «0» (5 Ом) на вході отримуємо напругу 0,08 В на виході. Отримані значення відповідають таблиці істинності логічного повторювача. Для отримання інвертованих зна-

чень, що відповідають таблиці істинності логічного елемента «НІ», для кожного каналу необхідно використати два послідовно з'єднаних моноімітансних елемента «НІ».

Також можливий варіант, коли змінюється не тільки довжина відрізків лінії передачі для кожного з елементів «НІ», але і їх ширина, що буде змінювати хвильовий опір відрізка Z_n . Моделюючи схеми транспондера з логічними елементами «НІ» з різними значенням хвильового опору, отримана залежність вихідної напруги від вхідного опору з хвильовими опорами $Z = 10; 20; 30; 40; 50$. Результати моделювання показані на рис. 4:

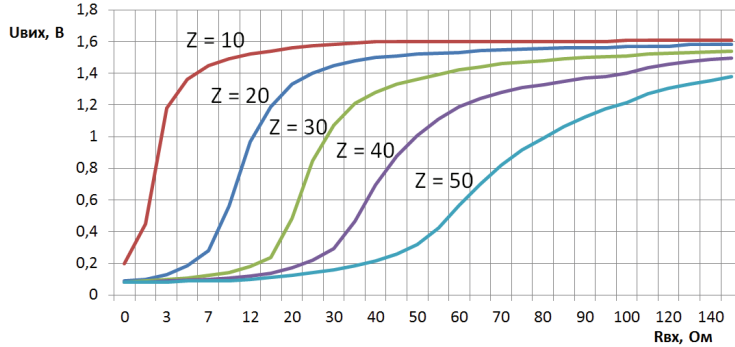


Рис. 4. Залежність зміни порогу перемикання моноімітансних логічних елементів «НІ» від хвильового опору відрізків лінії передачі

ми «НІ», але має можливість керування для кожного входу. Схема реалізації такого транспондера показана на рис. 5:

Як впливає з рис. 4, зі зміною хвильового опору буде змінюватись поріг перемикання елемента «НІ». Таким чином, зі зміною хвильового опору кожного з елементів «НІ» можемо отримати аналого-цифровий перетворювач, який може контролювати ступінь зміни параметра об'єкта, і передавати цю інформацію у цифровому вигляді.

Схема транспондера з моноімітансними суматорами по модулю 2 аналогічна схемі транспондера з елементами «НІ», але має можливість керування для кожного входу. Схема реалізації такого транспондера показана на рис. 5:

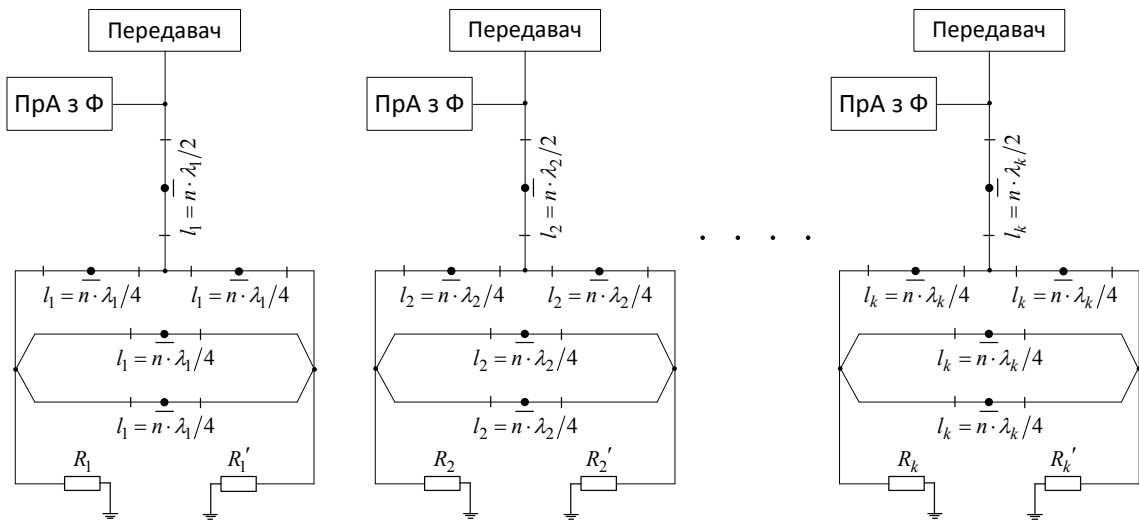


Рис. 5. Структурна схема пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансними суматорами по модулю 2

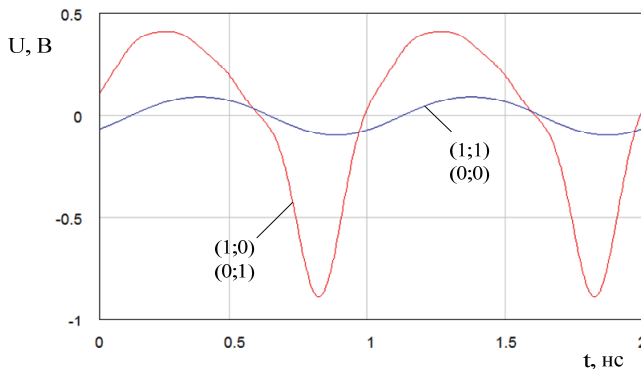


Рис. 6. Осцилограма вихідної напруги за різних вхідних логічних станах для пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним суматором по модулю 2

На рис. 5 $PrA з Ф$ — приймальна антена з фільтром, який пропускає тільки сигнал визначеної частоти. Кожний суматор по модулю 2 має довжини відрізків лінії передачі l_n , розраховані як $\lambda/4$ від довжини хвилі сигналу, який подається на цей елемент. R_n — активний опір, отриманий під дією параметра, що контролюється, R'_n — активний опір керування.

За допомогою моделювання роботи одного входу транспондера з моноімітансними суматорами по модулю 2 отримані значення напруги на виході в залежності від логічних значень опору на вході. Результати моделювання показані на графіках на рис. 6.

З графіків на рис. 6 випливає, що рівні напруги на виході схеми транспондера відповідають таблиці істинності суматора по модулю 2: за вхідних логічних станів (0;0) і (1;1) амплітуда вихідної напруги складає 97 мВ, що відповідає логічному «0», а за вхідних логічних станів (1;0) і (0;1) амплітуда вихідної напруги складає 890 мВ, що відповідає логічній «1».

Пасивний радіочастотний транспондер з моноімітансним шифратором перетворює адресу одного з об'єктів з системи, що змінив свій стан, в двійковий код. Функціональні можливості транспондера з шифратором будуть схожі на можливості транспондера з логічними елементами «НІ», але перевагами будуть представлення вихідного сигналу у вигляді двійкового числа, що значно зменшує кількість вихідних каналів, та зменшення кількості вхідних сигналів різних частот.

Розглянемо приклад транспондера з моноімітансним шифратором, що має 7 входів та 3 виходи. Таблиця істинності такого шифратора буде мати вигляд, поданий у табл. 1.

Таблиця 1

Таблиця істинності 8-розрядного моноімітансного шифратора

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	U1	U2	U3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Можлива схема реалізації пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним шифратором, побудованого на основі моноімітансних логічних елементів «АБО», показана на рис. 7.

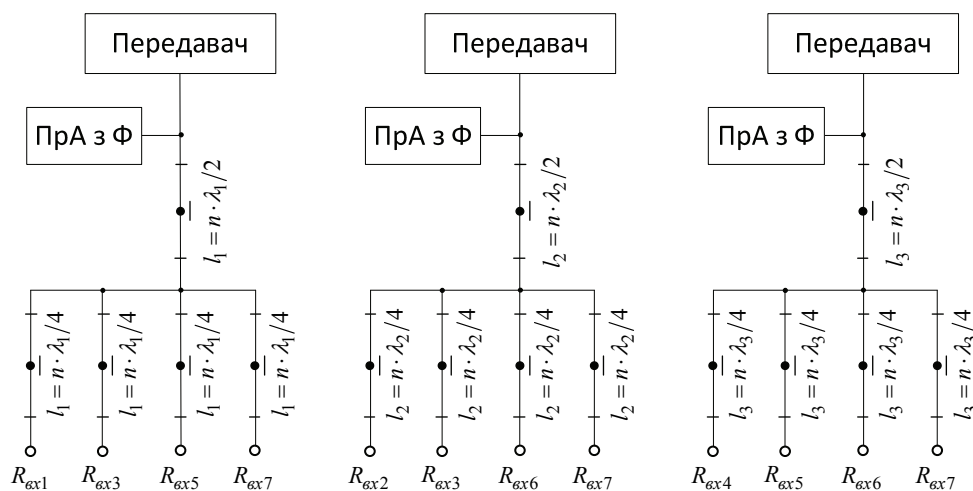


Рис. 7. Структурна схема пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним шифратором

Як випливає з рис. 7, деякі вхідні опори дублюються, при цьому можуть бути використані подільники потужності або збільшена кількість елементів, які реалізують вхідні імпеданси.

За допомогою комп'ютерного моделювання роботи схеми пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним шифратором отримані значення вихідних напруги в залежності від логічних значень опору на входах. Результати моделювання показані на графіках рис. 8.

З графіків на рис. 8 випливає, що рівні вихідної напруги пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним шифратором відповідають вихідним логічним рівням у табл. 1.

Такий транспондер може використовуватись для контролю стану певного об'єкта системи, і передавати отриману інформацію у вигляді двійкового коду. Однак недоліком такого транспондера є збільшена кількість вхідних каналів.

Пасивний радіочастотний транспондер з моноімітансним пріоритетним шифратором здійснює пріоритетне перетворення позиційного коду у двійковий код, які подані у вигляді логічних рівнів імпедансу.

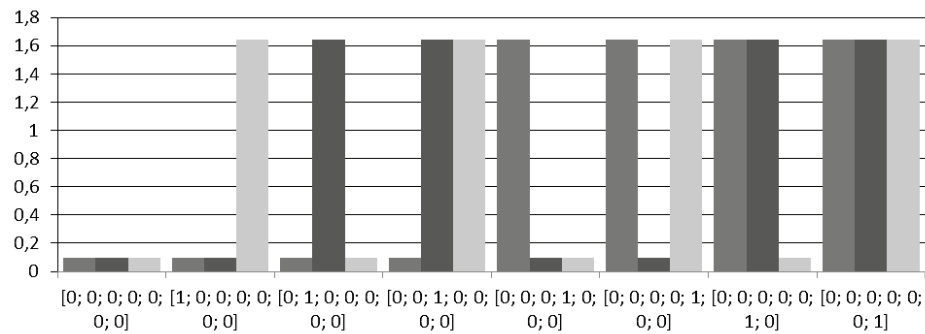


Рис. 8. Графіки залежності напруги на трьох виходах транспондера від вхідних логічних станів для пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним шифратором

Розглянемо приклад транспондера з пріоритетним шифратором, що має 7 входів та 3 виходи. Таблиця істинності для такого транспондера подана у табл. 2.

Таблиця 2

Таблиця істинності 8-розрядного моноімітансного пріоритетного шифратора

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	U1	U2	U3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
X	1	0	0	0	0	0	0	1	0
X	X	1	0	0	0	0	0	1	1
X	X	X	1	0	0	0	1	0	0
X	X	X	X	1	0	0	1	0	1
X	X	X	X	X	1	0	1	1	0
X	X	X	X	X	X	1	1	1	1

Можливий варіант побудови такого пріоритетного шифратора представлений у вигляді структурної схеми на рис. 9.

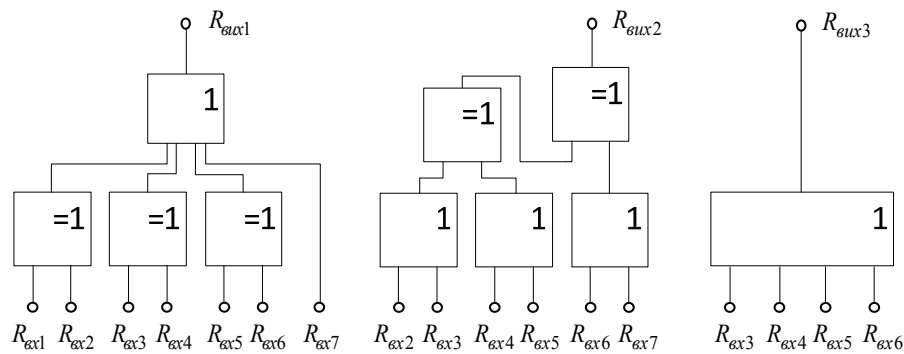


Рис. 9. Структурна схема 8-розрядного пріоритетного шифратора

Для спрощення схеми можлива заміна суматорів по модулю 2 на логічний елемент, що виконує функцію інверсії прямої імплікації. Таким чином, можливим варіантом побудови пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним пріоритетним шифратором є схема, зображена на рис. 10.

За допомогою комп'ютерного моделювання роботи схеми пасивного радіочастотного транспондера з моноімітансним пріоритетним шифратором отримані значення вихідних напруг в залежності від вхідних логічних значень опору. Результати моделювання показані на графіках на рис. 11.

З графіків на рис. 11 випливає, що рівні вихідних напруг транспондера відповідають вихідним логічним рівням у табл. 2 за умови, що логічній «1» на виході схеми відповідає напруга амплітудою 1,2...1,85 В, а логічному «0» — напруга амплітудою 0...0,15 В.

Пасивний радіочастотний транспондер з моноімітансним пріоритетним шифратором може використовуватись для контролю значення параметра об'єкта, і передавати отриману інформацію у вигляді двійкового коду. Але його недоліком є збільшення кількості вхідних каналів.

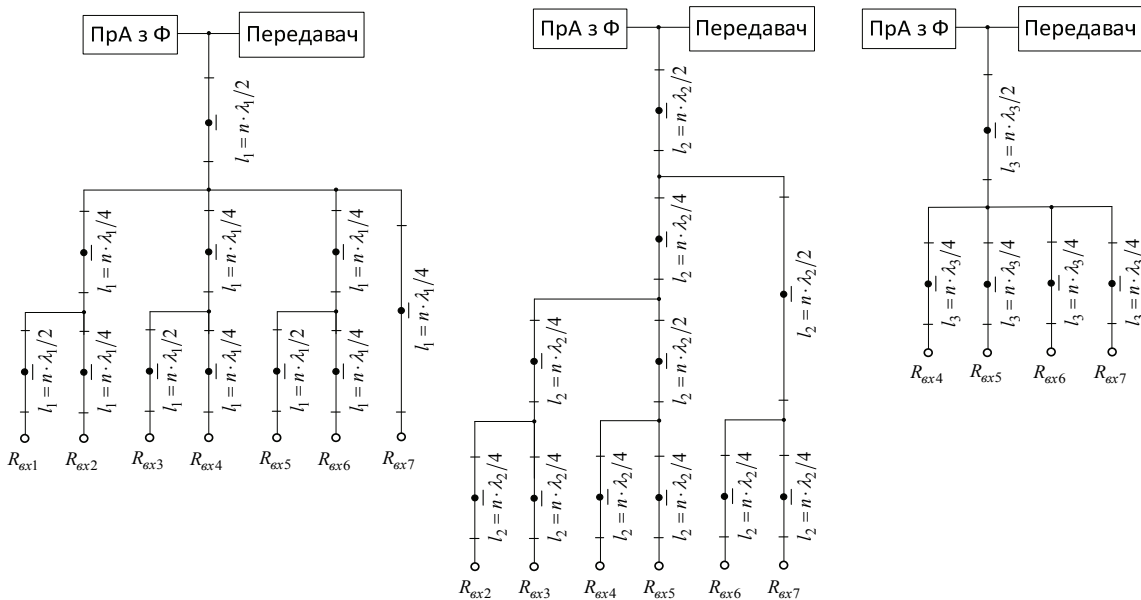


Рис. 10. Структурна схема пасивного радіочастотного транспондера з моноімпедансним пріоритетним шифратором

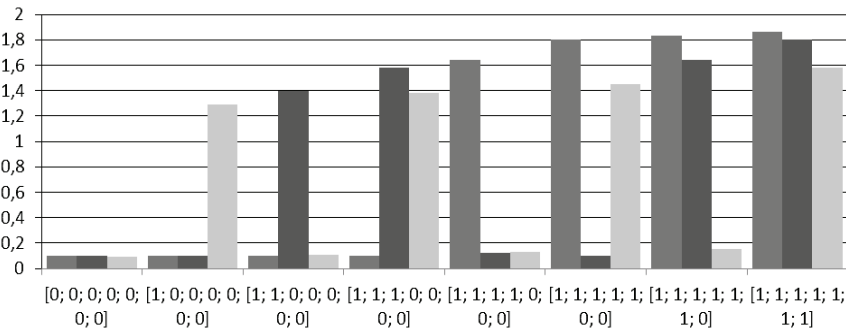


Рис. 11. Графік залежності вихідної напруги від вхідних логічних станів для пасивного радіочастотного транспондера з моноімпедансним пріоритетним шифратором

Висновки

Запропоновано схеми пасивних радіочастотних транспондерів, які працюють у НВЧ діапазоні і використовують моноімпедансний логічний елемент «І», масив моноімпедансних логічних елементів «НЕ», масив моноімпедансних логічних елементів «НЕ» з різними хвильовими опорамі, масив моноімпедансних суматорів по модулю 2, моноімпедансний шифратор та моноімпедансний пріоритетний шифратор. За допомогою комп'ютерного моделювання у програмному пакеті AWR Microwave Office 9.00 підтверджено їх працездатність за умов використання як логічного «0» активного опору 5 Ом, та як логічної «1» — активного опору 150 Ом. Для наочності вибрана напруга живлення на приймальній антені 3 В та частота сигналу 1 ГГц, однак, за умови використання у складі передавача діодів Шотткі або обернених діодів, амплітуда напруги вхідного сигналу може бути значно меншою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Nemaï Chandra Karmakar, Emran Md Amin, and Jhantu Kumar Saha, *Chipless RFID Sensors*. John Wiley & Sons, 2016, 272 p.

[2] Н. А. Филинюк, Л. Б. Лишинская, Е. В. Войцеховская, и В. П. Стахов, «Моноиммитансные логические RLC-элементы», *Вісник Хмельницького національного університету*, № 3, с. 117-121. 2015.

[3] Н. А. Филинюк, и др., *Имитансные логические элементы и устройства*. Винница, Украина: ВНТУ, 2016, 188 с.

[4] Й. Й. Білінський, О. О. Лазарев, та В. П. Стахов, «Пасивний радіочастотний моноімпедансний передавач», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 114-118. 2017.

[5] Й. Й. Білінський, О. О. Лазарев, та В. П. Стахов, «Пасивні радіочастотні моноімпедансні давачі», на *Міжнародна науково-технічна конференція «СПРТП-2017»*, Вінниця, ВНТУ, 2017, с. 129-131.

Білинський Йосип Йосипович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електроніки та наносистем;
Стахов Володимир Петрович — аспірант кафедри електроніки та наносистем, e-mail:
 vovastakhov@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Yo. Yo. Bilynskyi¹
V. P. Stakhov¹

Passive Radio Frequency Transponders with Monoimmittance Logical Schemes

¹Vinnitsia National Technical University

The schemes of passive radio frequency transponders that use the following monoimmittance schemes are proposed: logic gate "AND", array of logic gates "NO", array of logic gates "NO" with different wave impedance, array of modulo-2 adders, encoder and priority encoder. Computer simulation of these schemes was carried out in AWR Microwave Office 9.00 software package, and confirms their efficiency. The use of monoimmittance logic ensures the following advantages of the developed transponders: power supply from the input incoming informative signal, the absence of active elements and the absence of a threshold of minimum operating voltage, which allows to increase the transmission range of information or reduce the power of the input signal. It is also an important advantage to perform logical operations without chips in the circuit. Developed transponders consist of monoimmittance logic circuits and passive RF transmitters. Monoimmittance circuits use the active resistance as an informative parameter and are implemented on the basis of transforming properties of the quarter-wave segments of transmission line in microwave range. A full functional family of monoimmittance logic gates has already been developed today, which allows building on their basis monoimmittance combinational circuits and other digital devices. The transmitter used in the developed transponders is compatible with the monoimmittance logic and operates on the principle of inverse reflection of the input informative signal, which allows obtaining a rather high efficiency compared to other types of passive RF transmitters. The transmitter does not contain active elements in its composition, and consists of an amplitude detector, voltage-to-resistance converter, voltage divider, receiving and transmitting antenna.

Keywords: passive radio frequency transponder, monoimmittance logic, computer simulation.

Bilynskyi Yosyp Yo. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electronics and Nanosystems.
Stakhov Volodymyr P. — Post-Graduate Student of the Chair of Electronics and Nanosystems, e-mail:
 vovastakhov@gmail.com

И. И. Билинский¹
В. П. Стахов¹

Пассивные радиочастотные транспондеры с моноиммитансными логическими схемами

¹Вінницький національний технічний університет

Предложены схемы пассивных радиочастотных транспондеров, которые используют такие моноиммитансные схемы: логический элемент «И», массив логических элементов «НЕ», массив логических элементов «НЕ» с различными волновыми сопротивлениями, массив сумматоров по модулю 2, шифратор и приоритетный шифратор. Проведено компьютерное моделирование этих схем в программном пакете AWR Microwave Office 9.00, которое подтверждает их работоспособность.

Ключевые слова: пассивный радиочастотный транспондер, моноиммитансная логика.

Билинский Иосиф Иосифович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроники и наносистем;
Стахов Владимир Петрович — аспірант кафедри електроніки та наносистем, e-mail:
 vovastakhov@gmail.com