

Й. Й. Білинський, д. т. н., проф.; В. П. Стахов

ПАСИВНІ РАДІОЧАСТОТНІ МОНОІМІТАНСНІ ТРАНСПОНДЕРИ

Проведено аналіз технологій сучасних транспондерів, на основі якого запропоновано варіанти побудови пасивних радіочастотних моноімітансних транспондерів, а також досліджено схему пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера, який виконує логічну функцію «АБО», та проведено моделювання її роботи у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00.

Ключові слова: радіочастотний пасивний транспондер, моноімітансна логіка.

Вступ

Радіочастотні транспондери з кожним роком набувають усе більшого поширення в різноманітних сферах людського життя. Однією з причин цього є зниження ціни й розмірів радіочастотних транспондерів. Однак інтелектуальні транспондери, які містять мікросхеми, залишаються все ще досить дорогими. Крім того доволі складною є побудова пасивних транспондерів на мікросхемах, які живилися б від сигналу опитувача, тому актуальною є побудова пасивних радіочастотних інтелектуальних транспондерів, які не містять мікросхеми [1].

Застосування моноімітансної логіки в радіочастотних транспондерах може забезпечити виконання простих логічних операцій за умови живлення схеми від сигналу опитувача. Крім того їх перевагою буде проста технологія виготовлення, що може значно знизити ціну моноімітансних транспондерів порівняно з транспондерами на мікросхемах, тому метою роботи є розробка схемотехнічних рішень, які дозволили б побудувати пасивні радіочастотні моноімітансні транспондери.

Основна частина

Розглянемо основні характеристики наявних радіочастотних транспондерів. Однією з головних характеристик є частотний діапазон, за яким радіочастотні транспондери умовно поділяють на такі групи [2, 3]:

1. Низький діапазон частот (30 – 300 кГц).

Низькочастотні радіочастотні транспондери мають малу дальність зчитування (менше 1 см), але низьку вартість. Їх використовують для контролю доступу, ідентифікації тварин і систем інвентаризації. Інформацію між транспондером і зчитувачем передають за допомогою електричного або магнітного поля.

2. Високий діапазон частот (3 – 30 МГц).

Такі транспондери мають середню дальність зчитування (менше 1 м) і високу вартість. Їх використовують для контролю доступу, а також для смарт-карт. Інформацію передають за допомогою індуктивного зв'язку.

3. Надвисокий діапазон частот (300 МГц – 5.8 ГГц).

Транспондери з високою дальністю (більше 1 м) і швидкістю зчитування вимагають точного націлювання зчитувача. Їх використовують для спостереження за перевезенням вантажів залізницею, для системи оплати за користування дорогою для водіїв. Інформацію передають за допомогою електромагнітних хвиль у НВЧ-діапазоні.

Оскільки моноімітансна логіка побудована на використанні властивостей лінії передачі в НВЧ-діапазоні, доцільним є використання електромагнітних хвиль НВЧ-діапазону для передачі інформації між радіочастотним моноімітансним транспондером і зчитувачем.

Пасивні радіочастотні транспондери не мають власного джерела електроживлення, і тому вся енергія, необхідна для їх роботи, має бути отримана з електромагнітного сигналу, яка

надходить від зчитувача. Дальність зчитування пасивних транспондерів залежить від енергії, яка надходить від зчитувача. Перевагами пасивних транспондерів є практично необмежений термін їх експлуатації, а також менша вага, розміри й ціна порівняно з активними транспондерами. Недоліком пасивних транспондерів є необхідність використання потужніших зчитувачів.

Активні радіочастотні транспондери мають убудовану автономну батарею, яка поставляє всю або частину енергії для роботи інтегральної мікросхеми, тому вони потребують меншої потужності зчитувача. Перевагами активних радіочастотних транспондерів порівняно з пасивними є більша (не менша ніж у 2 – 3 рази) дальність зчитування інформації й висока допустима швидкість руху активного транспондера щодо зчитувача.

Оскільки моноімітансна логіка не має активних елементів, то доцільним є розробка саме пасивних радіочастотних моноімітансних транспондерів.

Іншою характеристикою радіочастотних транспондерів є їх функціональність. Звичайні однобітові радіочастотні транспондери, які зазвичай є пасивними, працюють на таких фізичних ефектах, як LC-резонанс, збільшення в кілька разів частоти нелінійним накопичувачем енергії, резонанс феромагнітного елемента на основі магнітострикційного ефекту тощо. Такі транспондери виконують єдину функцію: сповіщають про свою присутність або відсутність у зоні опитування.

Для радіочастотних транспондерів ширшого функціоналу зазвичай використовують мікросіпи, які можуть живитися від батареї, або у випадку пасивного транспондера можуть отримувати живлення від вхідного НВЧ-сигналу. Проте для роботи чіпа потужність вхідного сигналу має бути не нижча за певне значення, що обмежує дальність дії таких транспондерів. Тому перевагою радіочастотних моноімітансних транспондерів може бути можливість побудови інтелектуальних транспондерів, які не залежать від потужності вхідного сигналу завдяки відсутності активних елементів.

Процедури передачі даних від транспондера на зчитувач можуть бути поділені на три типи [2]:

- використання зворотного відбиття (backscatter), при цьому частота відбитого коливання відповідає частоті передачі зчитувача. Використовують у більшості транспондерів дальньої дії [4];

- модуляція навантаження (load modulation). На поле зчитувача впливає зміна навантаження транспондера; частота вихідного сигналу відповідає частоті вхідного;

- використання субгармонік і генерація в давачі n-кратних гармонійних коливань.

За використання принципу зворотного відбиття пасивний радіочастотний моноімітансний транспондер може мати структуру, зображену на рис. 1.

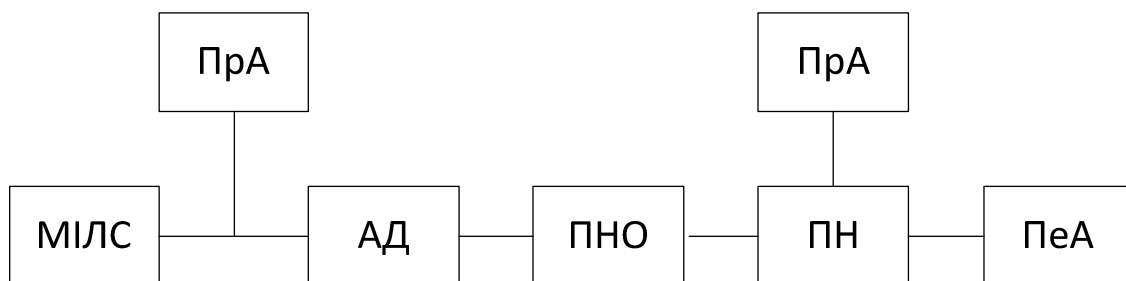


Рис. 1. Структурна схема пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера, побудованого на принципі зворотного відбиття

На рис. 1 МІЛС – моноімітансна логічна схема, АД – амплітудний детектор, ПНО – перетворювач напруги в опір, ПН – подільник напруги, ПрА – приймальна антена, ПеА – передавальна антена.

Транспондер працює так: за наявності вхідного НВЧ-сигналу, що приходить із приймальної антени в моноімітансну логічну схему, на вхідних клеммах амплітудного детектора з'являється стояча хвиля напруги певної амплітуди, яку амплітудний детектор перетворює в постійну напругу. Після цього відбувається перетворення постійної напруги в опір. Цей опір з'являється на одному плечі подільника напруги, тоді як на іншому плечі наявний опір приймальної антени. Під час роботи моноімітансної логічної схеми відношення цих опорів змінюється, завдяки чому відбувається амплітудна модуляція сигналу, який передається з приймальної на передавальну антену.

Можливий варіант реалізації пасивного радіочастотного моноімітансного передавача (без підключення логічних схем), побудованого на принципі зворотного відбиття, зображений на рис. 2.

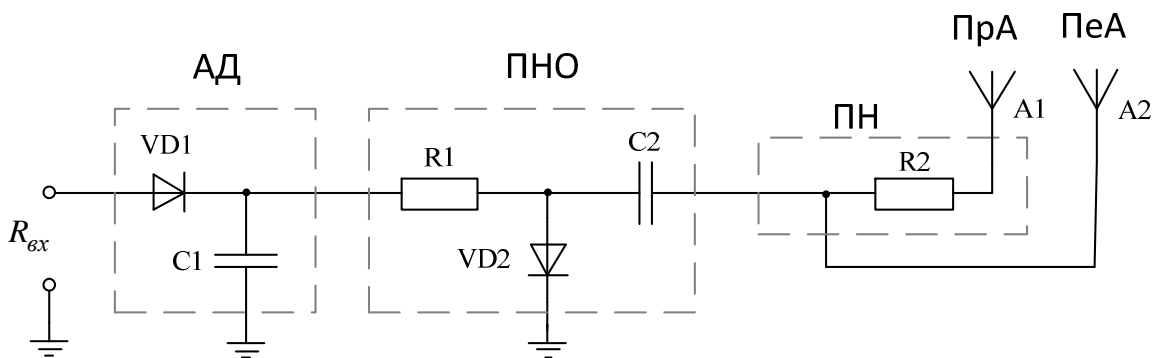


Рис. 2. Можливий варіант реалізації пасивного радіочастотного моноімітансного передавача, побудованого на принципі зворотного відбиття

За використання принципу генерації n -кратних гармонійних коливань до складу транспондера може бути доданий помножувач частоти (ПЧ).

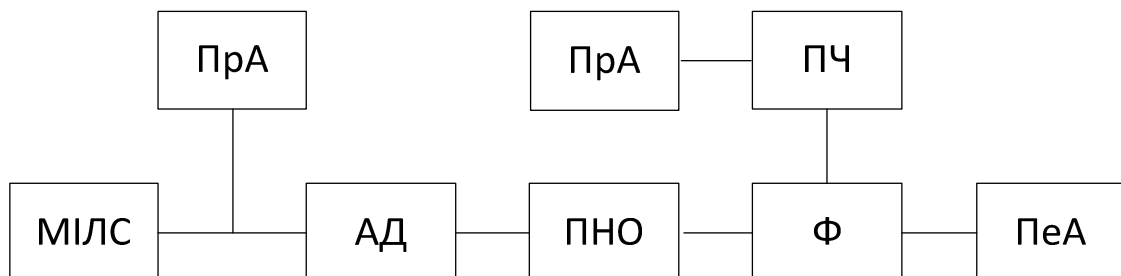


Рис. 3. Структурна схема пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера, побудованого на принципі генерації n -кратних гармонійних коливань

На рис. 3 МІЛС – моноімітансна логічна схема, АД – амплітудний детектор, ПНО – перетворювач напруги в опір, Ф – фільтр, ПЧ – помножувач частоти, ПрА – приймальна антена, ПеА – передавальна антена.

Можливий варіант реалізації пасивного радіочастотного моноімітансного передавача, побудованого на принципі генерації двократних гармонійних коливань, зображений на рис. 4.

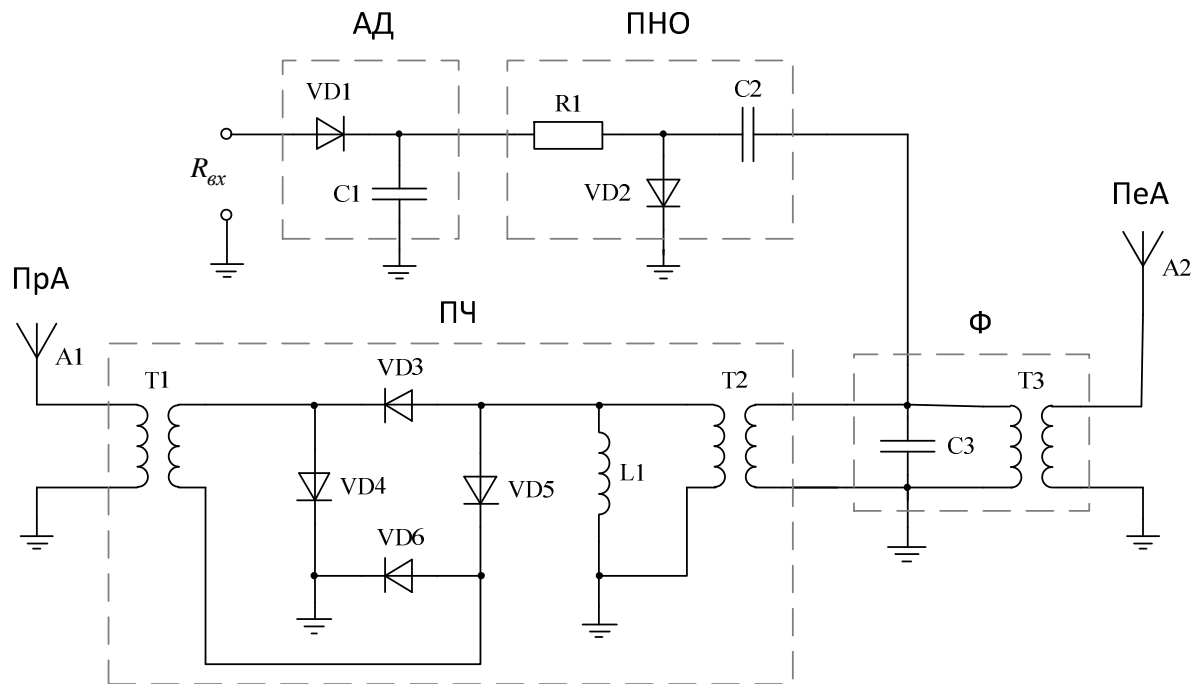


Рис. 4. Можливий варіант реалізації пасивного радіочастотного моноімітансного передавача, побудованого на принципі генерації двократних гармонійних коливань

За використання принципу генерації n -кратних гармонійних коливань з'являється можливість одночасного посилання і прийому сигналу зчитувачем, але наявність помножувача частоти у схемі давача вносить значне послаблення вихідного сигналу транспондера.

Розглянемо використання моноімітансних логічних схем для пасивних радіочастотних моноімітансних транспондерів на прикладі моноімітансного логічного R-елемента «АБО». У якості схеми передавача буде використана схема, побудована на принципі зворотного відбиття, завдяки меншим втратам корисного сигналу порівняно з передавачем, побудованим на принципі генерації n -кратних гармонійних коливань.

Моноімітансний логічний елемент «АБО» може мати необмежену кількість входів і один вихід. Транспондер із елементом «АБО» може бути використаний для індикації зміни стану (зміни активного опору) одного об'єкта з масиву об'єктів, причому давач передає тільки інформацію про сам факт зміни стану, але не інформація для ідентифікації об'єкта. Прикладом такого використання може бути контроль герметичності тари, справності елементів системи та ін.

Спрощену математичну модель моноімітансного логічного R-елемента описує рівняння [5]:

$$R_{\text{вих}} = Z_0^2 / \frac{Z_1^2/R_1 \cdot Z_2^2/R_2 \cdot \dots \cdot Z_n^2/R_n}{Z_1^2/R_1 + Z_2^2/R_2 + \dots + Z_n^2/R_n}, \quad (1)$$

де Z_0 – хвильовий опір вихідного відрізка лінії передачі, $Z_1 - Z_n$ – хвильові опори вхідних відрізків лінії передачі, $R_1 - R_n$ – активні опори, під'єднані до входів елементу.

Структурна схема пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з логічним елементом «АБО» зображена на рис. 5.

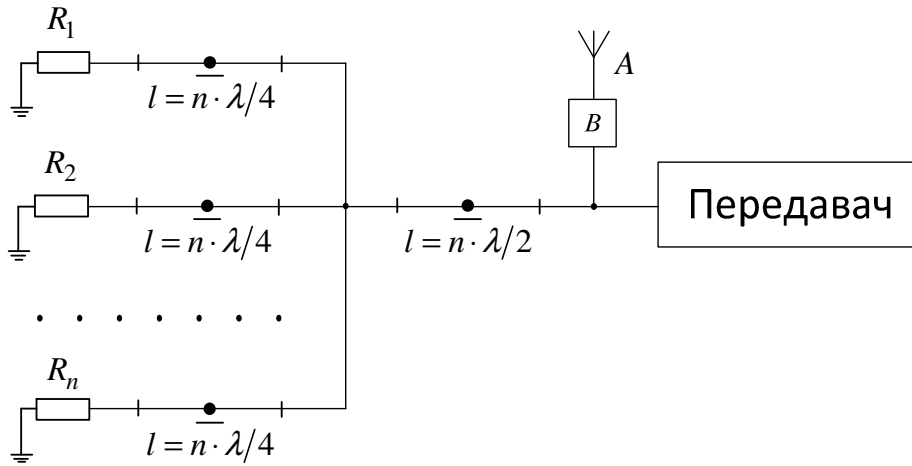


Рис. 5. Структурна схема пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з логічним елементом «АБО»

Оскільки розроблені передавачі інвертують сигнал, для отримання неінвертованого сигналу на виході транспондера на рис. 5 до схеми моноімітансного логічного елемента «АБО» доданий логічний елемент «НІ». Поріг спрацювання моноімітансного логічного елемента «АБО» може бути встановлений за допомогою задання хвильового опору відрізків лінії передачі.

За допомогою моделювання роботи схеми пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з елементом «АБО» з трьома входами у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00 отримані значення напруги на виході схеми за умови наявності всіх можливих логічних значень опору на входах схеми. Під час моделювання тут і надалі як логічний «0» використано опір 5 Ом, як логічну одиницю – опір 150 Ом. Напруга живлення на приймальній антені – 3 В. Схема транспондера у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00 зображена на рис. 6.

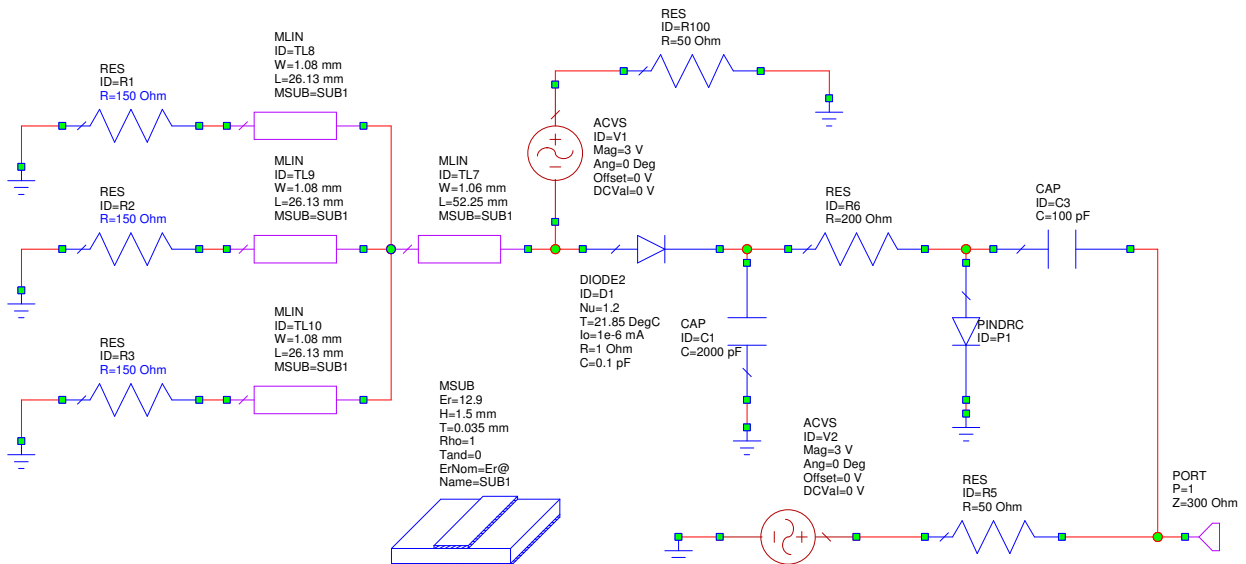


Рис. 6. Схема пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з логічним елементом «АБО» у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00

Результати моделювання наведені на графіку на рис. 7.

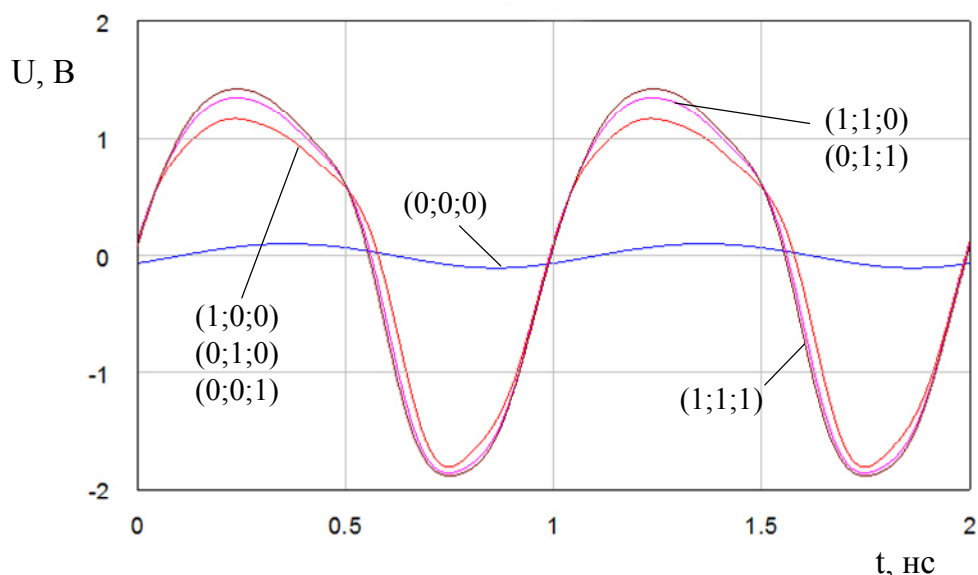


Рис. 7. Осцилограми вихідної напруги за умови різних логічних станів на входах схеми пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з елементом «АБО» з трьома входами

Із графіків на рис. 7 можемо зробити висновок, що рівні напруги на виході схеми пасивного радіочастотного моноімітансного транспондера з елементом «АБО» з трьома входами відповідають таблиці істинності логічного елемента «АБО»: амплітуда вихідної напруги за умови вхідних логічних станів (0;0;0) не перевищує 100 мВ, тоді як у всіх інших випадках значення амплітуди напруги знаходиться в межах 1,8 – 1,9 В.

Висновки

У результаті аналізу сучасних технологій радіочастотних транспондерів обрані принципи побудови передавачів для моноімітансної логіки, зокрема передавача, що використовує принцип зворотного відбиття, та передавача, що використовує принцип генерації двократних гармонійних коливань. Використання таких передавачів дозволяє побудувати пасивні радіочастотні моноімітансні транспондери, які виконують логічні операції без використання постійного джерела живлення. Як приклад таких транспондерів розглянуто транспондер із логічною функцією «АБО», проведено моделювання його роботи у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00 та отримано графіки, що підтверджують його працездатність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Karmakar N. C. Chipless RFID Sensors / N. C. Karmakar, E. M. Amin, J. K. Saha. – John Wiley & Sons, 2016. – 272 p.
2. Дшхунян В. Л. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты / В. Л. Дшхунян, В. Ф. Шаньгин. – М. : ООО «Издательство АСТ», 2004. – 695 с. – ISBN5-17-026327-9.
3. Vena A. Chipless RFID based on RF Encoding Particle: Realization, Coding and Reading System / A. Vena, E. Perret, S. Tedjini. – Elsevier, 2016. – 258 p.
4. Karmakar N. C. Advanced Chipless RFID: MIMO-Based Imaging at 60 GHz - ML Detection / N. C. Karmakar, M. Zomorodi, C. Divarathne. – John Wiley & Sons, 2016. – 304 p.
5. Н. А. Филинюк Исследование моноимитансного логического R-элемента «ИЛИ» / Н. А. Филинюк, С. Е. Фурса, В. П. Стахов // Вісник НТУ «ХПИ». – 2015. – № 33. – С. 175 – 184.

Білинський Йосип Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри електроніки та наносистем.

Стахов Володимир Петрович – аспірант кафедри електроніки та наносистем.
Вінницький національний технічний університет.