

И. И. Билинский, д. т. н., проф.; В. П. Стахов

ПАССИВНЫЕ РАДИОЧАСТОТНЫЕ МОНОИММИТАНСНЫЕ ТРАНСПОНДЕРЫ

Проведён анализ технологий современных транспондеров, на основе которого предложены варианты построения пассивных радиочастотных моноиммитансных транспондеров, а также исследована схема пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера, который выполняет логическую функцию «ИЛИ», и проведено моделирование её работы в программном пакете AWR Design Environment 9.00.

Ключевые слова: радиочастотный пассивный транспондер, моноиммитансная логика.

Введение

Радиочастотные транспондеры с каждым годом получают все большее распространение в различных сферах человеческой жизни. Одной из причин этого является снижение цены и размеров радиочастотных транспондеров. Однако интеллектуальные транспондеры, содержащие микрочипы, остаются все еще довольно дорогими. Кроме того весьма сложным является построение пассивных транспондеров на микрочипах, которые питались бы от сигнала считывателя, поэтому актуальным является построение пассивных радиочастотных интеллектуальных транспондеров, не содержащих микрочипы [1].

Использование моноиммитансной логики в радиочастотных транспондерах может обеспечить выполнение простых логических операций при условии питания схемы от сигнала считывателя. Кроме того их преимуществом является простая технология изготовления, что может значительно снизить цену моноиммитансных транспондеров по сравнению с транспондерами на микросхемах, поэтому целью работы является разработка схемотехнических решений, позволяющих построить пассивные радиочастотные моноиммитансные транспондеры.

Основная часть

Рассмотрим основные характеристики существующих радиочастотных транспондеров. Одной из главных характеристик является частотный диапазон, по которому радиочастотные транспондеры условно делят на следующие группы [2, 3]:

1. Низкий диапазон частот (30 – 300 кГц).

Низкочастотные радиочастотные транспондеры имеют малую дальность считывания (менее 1 см), но низкую стоимость. Их используют для контроля доступа, идентификации животных и систем инвентаризации. Информацию между транспондером и считывателем передают с помощью электрического или магнитного поля.

2. Высокий диапазон частот (3 – 30 МГц).

Такие транспондеры имеют среднюю дальность считывания (менее 1 м) и высокую стоимость. Их используют для контроля доступа, а также для смарт-карт. Информацию передают с помощью индуктивной связи.

3. Сверхвысокий диапазон частот (300 МГц – 5.8 ГГц).

Транспондеры с высокой дальностью (более 1 м) и скоростью считывания требуют точного нацеливания считывателя. Их используют для наблюдения за перевозкой грузов по железной дороге, для системы оплаты за пользование дорогой для водителей. Информацию передают с помощью электромагнитных волн в СВЧ-диапазоне.

Так как моноиммитансная логика построена на использовании свойств линии передачи в

СВЧ-диапазоне, целесообразным является использование электромагнитных волн СВЧ-диапазона для передачи информации между радиочастотным моноиммитансным транспондером и считывателем.

Пассивные радиочастотные транспондеры не имеют собственного источника электропитания, поэтому вся энергия, необходимая для их работы, должна быть получена из электромагнитного сигнала, поступающего от считывателя. Дальность считывания пассивных транспондеров зависит от энергии, поступающей от считывателя. Преимуществами пассивных транспондеров являются практически неограниченный срок их службы, а также меньший вес, размеры и цена по сравнению с активными транспондерами. Недостатком пассивных транспондеров является необходимость использования более мощных считывателей.

Активные радиочастотные транспондеры имеют встроенную автономную батарею, которая поставляет всю или часть энергии для работы интегральной микросхемы, поэтому они требуют меньшей мощности считывателя. Преимуществами активных радиочастотных транспондеров по сравнению с пассивными являются большая (не менее чем в 2 – 3 раза) дальность считывания информации и высокая допустимая скорость движения активного транспондера относительно считывателя.

Так как моноиммитансная логика не имеет активных элементов, то целесообразной является разработка именно пассивных радиочастотных моноиммитансных транспондеров.

Другой характеристикой радиочастотных транспондеров является их функциональность. Обычные однобитовые радиочастотные транспондеры, которые обычно являются пассивными, работают на таких физических эффектах, как LC-резонанс, увеличение в несколько раз частоты нелинейным накопителем энергии, резонанс ферромагнитного элемента на основе магнестрикционного эффекта и т. д. Такие транспондеры выполняют единственную функцию: сообщают о своем присутствии или отсутствии в зоне опроса.

Для радиочастотных транспондеров широкого функционала обычно используют микрочипы, которые могут питаться от батареи, или в случае пассивного транспондера могут получать питание от входного СВЧ-сигнала. Однако для работы чипа мощность входного сигнала должна быть не ниже определенного значения, что ограничивает дальность действия таких транспондеров. Поэтому преимуществом радиочастотных моноиммитансных транспондеров может быть возможность построения интеллектуальных транспондеров, которые не зависят от мощности входного сигнала благодаря отсутствию активных элементов.

Процедуры передачи данных от транспондера на считыватель могут быть разделены на три типа[2]:

- использование обратного отражения (backscatter), при этом частота отраженного колебания соответствует частоте передачи считывателя. Используют в большинстве транспондеров дальнего действия [4];
- модуляция нагрузки (load modulation). На поле считывателя влияет изменение нагрузки транспондера; частота выходного сигнала соответствует частоте входного;
- использование субгармоник и генерация n-кратных гармонических колебаний.

При использовании принципа обратного отражения пассивный радиочастотный моноиммитансный транспондер может иметь структуру, изображенную на рис. 1.

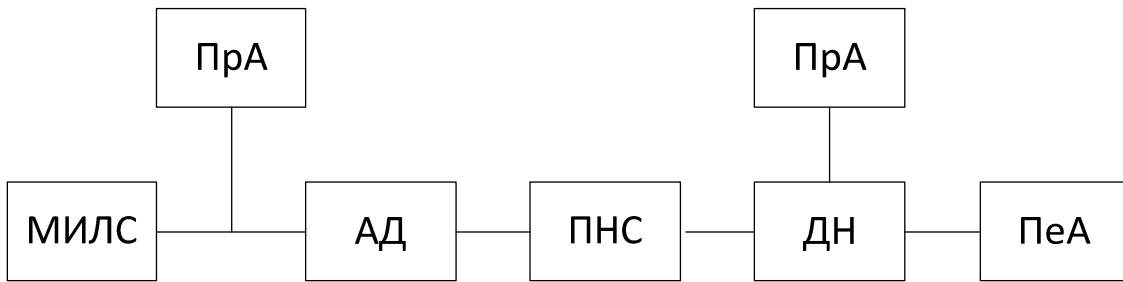


Рис. 1. Структурная схема пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера, построенного на принципе обратного отражения

На рис. 1 МИЛС – моноиммитансная логическая схема, АД – амплитудный детектор, ПНС – преобразователь напряжения в сопротивление, ДН – делитель напряжения, ПрА – приемная антенна, ПеА – передающая антенна.

Транспондер работает следующим образом: при наличии входного СВЧ-сигнала, проходящего из приемной антенны в моноиммитансную логическую схему, на входных клеммах амплитудного детектора появляется стоячая волна напряжения определенной амплитуды, которую амплитудный детектор преобразует в постоянное напряжение. После этого происходит преобразование постоянного напряжения в сопротивление. Это сопротивление появляется на одном плече делителя напряжения, в то время как на другом плече присутствует сопротивление приемной антенны. При работе моноиммитансной логической схемы соотношение этих сопротивлений меняется, благодаря чему происходит амплитудная модуляция сигнала, который передается из приемной на передающую антенну.

Возможен вариант реализации пассивного радиочастотного моноиммитансного передатчика (без подключения логических схем), построенного на принципе обратного отражения, изображенный на рис. 2.

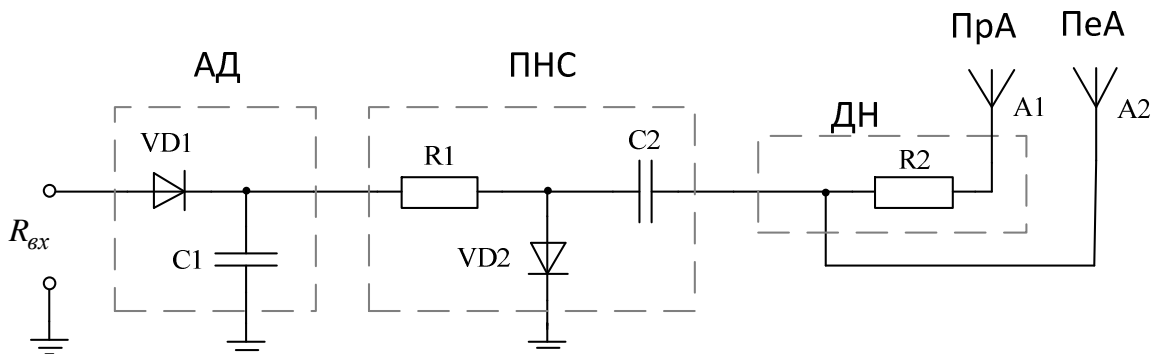


Рис. 2. Возможный вариант реализации пассивного радиочастотного моноиммитансного передатчика, построенного на принципе обратного отражения

При использовании принципа генерации n -кратных гармонических колебаний в состав транспондера может быть добавлен умножитель частоты (УЧ).

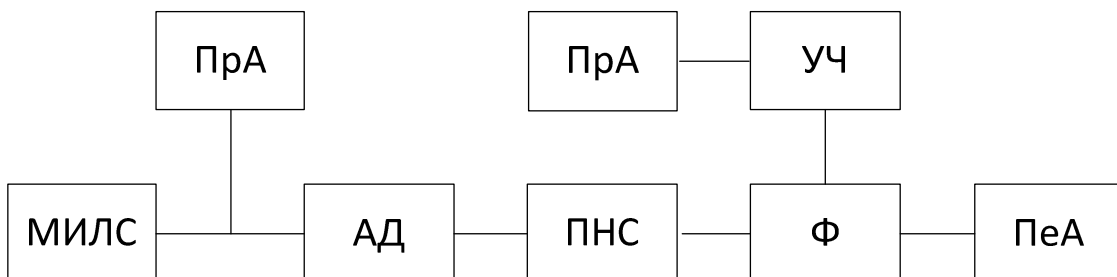


Рис. 3. Структурная схема пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера, построенного на принципе генерации n -кратных гармонических колебаний

На рис. 3 МИЛС – моноиммитансная логическая схема, АД – амплитудный детектор, ПНС – преобразователь напряжения в сопротивление, Ф – фильтр, ПЧ – умножитель частоты, ПрА – приемная антенна, ПеА – передающая антенна.

Возможен вариант реализации пассивного радиочастотного моноиммитансного передатчика, построенного на принципе генерации двукратных гармонических колебаний, изображенный на рис. 4.

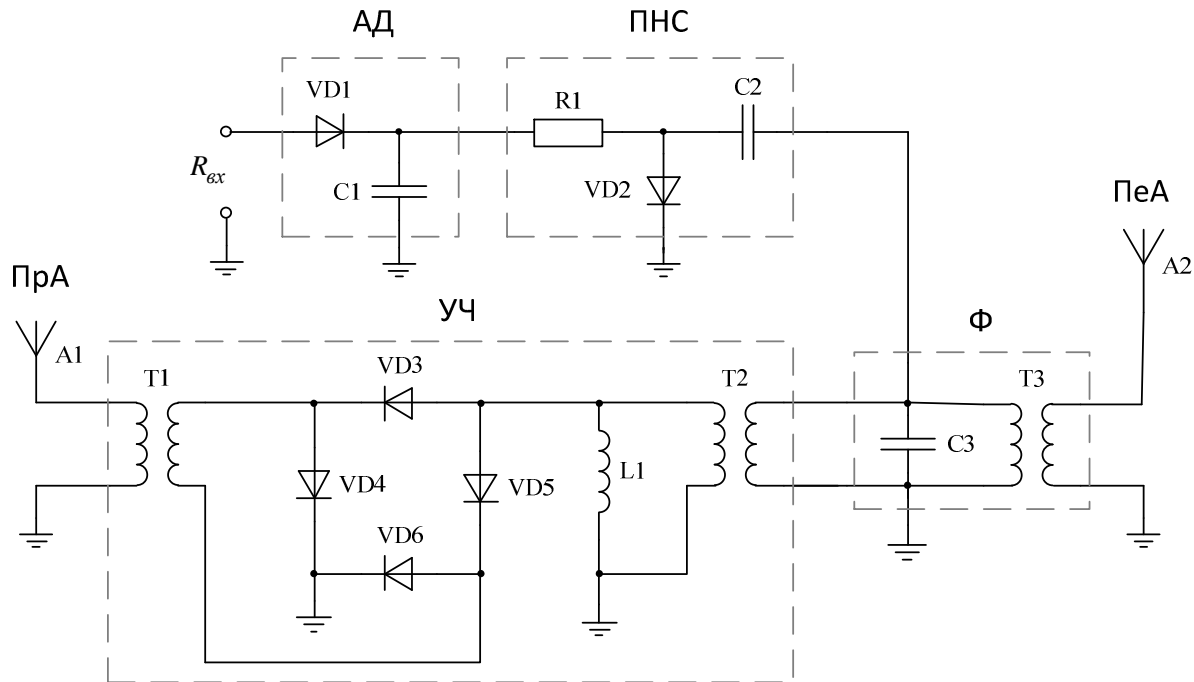


Рис. 4. Возможный вариант реализации пассивного радиочастотного моноиммитансного передатчика, построенного на принципе генерации двукратных гармонических колебаний

При использовании принципа генерации n-кратных гармонических колебаний появляется возможность одновременного приёма и передачи сигнала считывателем, но наличие умножителя частоты в схеме транспондера вносит значительное ослабление выходного сигнала.

Рассмотрим использование моноиммитансных логических схем для пассивных радиочастотных моноиммитансных транспондеров на примере моноиммитансного логического R-элемента «ИЛИ». В качестве схемы передатчика будет использована схема, построенная на принципе обратного отражения, благодаря меньшим потерям полезного сигнала по сравнению с передатчиком, построенным на принципе генерации n-кратных гармонических колебаний.

Моноиммитансный логический элемент «ИЛИ» может иметь неограниченное количество входов и один выход. Транспондер с элементом «ИЛИ» может быть использован для индикации изменения состояния (изменения активного сопротивления) одного объекта из массива объектов, причем датчик передаёт только информацию о самом факте изменения состояния, но не информацию для идентификации изменённого объекта. Примером такого использования может быть контроль герметичности тары, исправности элементов системы и пр.

Упрощенную математическую модель моноиммитансного логического R-элемента описывают уравнением [5]:

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

где Z_0 – волновое сопротивление выходного отрезка линии передачи, $Z_1 - Z_n$ – волновые сопротивления входных отрезков линии передачи, $R_1 - R_n$ – активные сопротивления, подключенные ко входам логического элемента.

Структурная схема пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера с логическим элементом "ИЛИ" изображена на рис. 5.

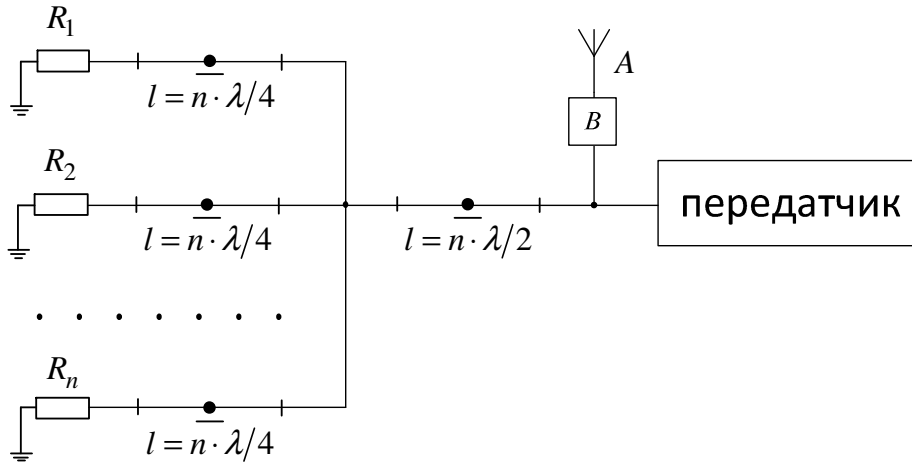


Рис. 5. Структурная схема пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера с логическим элементом "ИЛИ"

Так как разработанные передатчики инвертируют сигнал, для получения неинвертированного сигнала на выходе транспондера на рис. 5 к схеме моноиммитансного логического элемента «ИЛИ» добавлен логический элемент «НЕ». Порог срабатывания моноиммитансного логического элемента «ИЛИ» может быть установлен с помощью задания волнового сопротивления отрезков линии передачи.

С помощью моделирования работы схемы пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера с элементом "ИЛИ" с тремя входами в программном пакете AWR Design Environment 9.00 получены значения напряжения на выходе схемы при всех возможных логических значениях сопротивления на входах схемы. При моделировании в качестве логического «0» использовано сопротивление 5 Ом, в качестве логической единицы – сопротивление 150 Ом. Напряжение питания на принимающей антенне – 3 В. Схема транспондера в программном пакете AWR Design Environment 9.00 изображена на рис. 6.

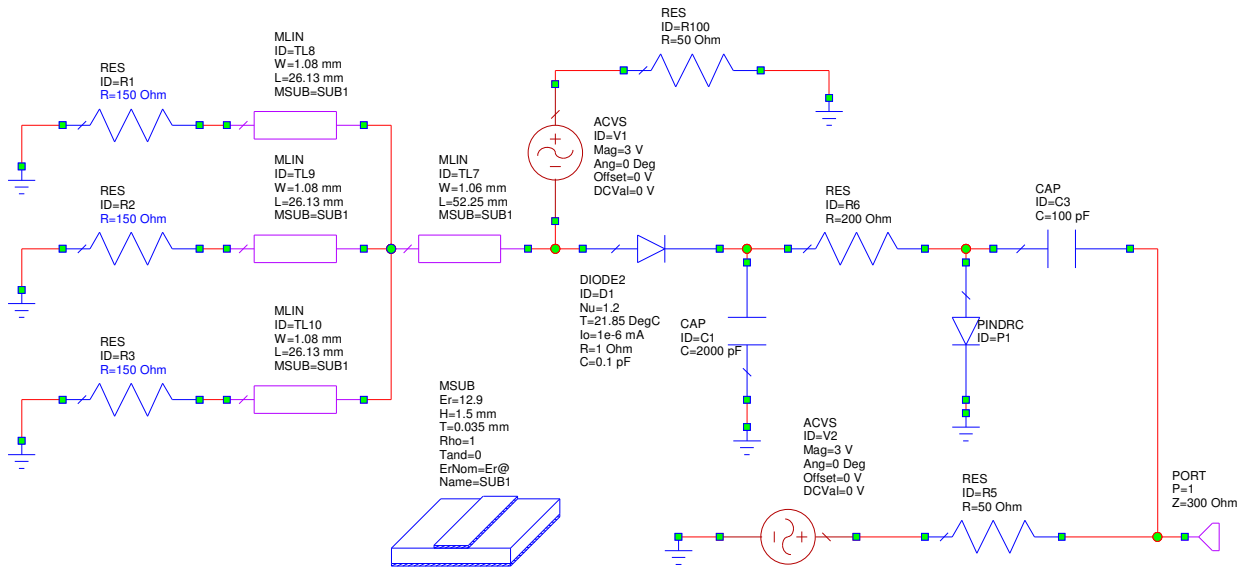


Рис. 6. Схема пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера с логическим элементом "ИЛИ" в программном пакете AWR Design Environment 9.00

Результаты моделирования приведены на рис. 7.

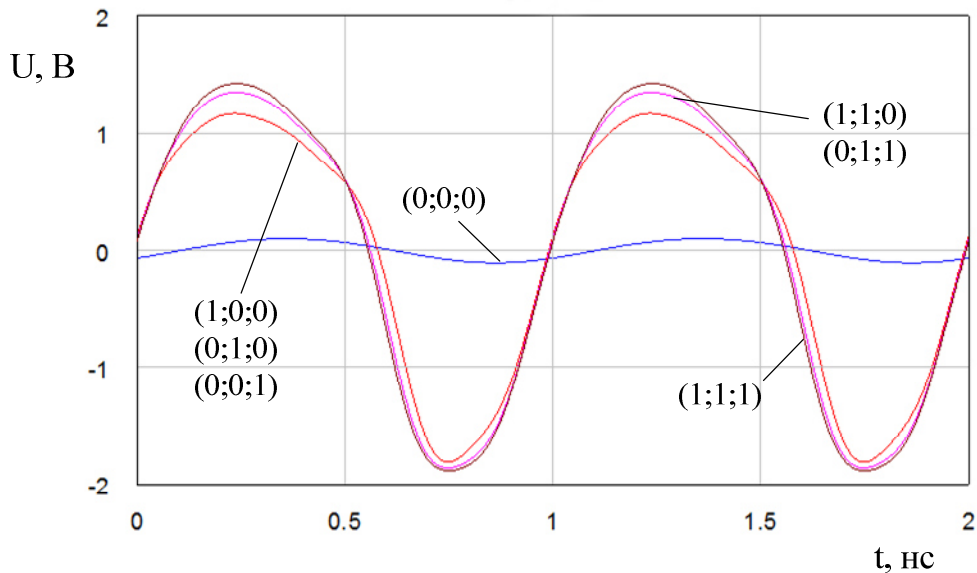


Рис. 7. Осциллограммы выходного напряжения при различных логических состояниях на входах схемы пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера с элементом "ИЛИ" с тремя входами

Из графиков на рис. 7 можем сделать вывод, что уровни напряжения на выходе схемы пассивного радиочастотного моноиммитансного транспондера с элементом "ИЛИ" с тремя входами соответствуют таблице истинности логического элемента «ИЛИ»: амплитуда выходного напряжения при входных логических состояниях (0, 0, 0) не превышает 100 мВ, в то время как во всех других случаях значение амплитуды напряжения находится в пределах 1,8 – 1,9 В.

Выводы

В результате анализа современных технологий радиочастотных транспондеров выбраны принципы построения передатчиков для моноиммитансной логики, в частности передатчика, использующего принцип обратного отражения, и передатчика, использующего принцип

генерации двукратных гармонических колебаний. Использование таких передатчиков позволяет построить пассивные радиочастотные моноиммитансные транспондеры, выполняющие логические операции без использования постоянного источника питания. В качестве примера таких транспондеров рассмотрен транспондер с логической функцией «ИЛИ», проведено моделирование его работы в программном пакете AWR Design Environment 9.00 и получены графики, подтверждающие его работоспособность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 моноиммитансного логического R-элемента «ИЛИ» / Н. А. Филинюк, С. Е. Фурса, В. П. Стахов // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – № 33. – С. 175 – 184.

Билинский Иосиф Иосифович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой электроники и наносистем.

Стахов Владимир Петрович – аспирант кафедры электроники и наносистем.
Винницкий национальный технический университет.