

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО МЕТОДА В UHF RFID-СЕНСОРАХ

Зин Мин Хтун

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Кирильчук В.Б. – доцент (научн.рук.)

В статье представлены результаты исследования спектральных характеристики кодированных нелинейных сигналов, которые могут найти применение в системах с кодовым разделением каналов. В статье представлены результаты анализа фазовых методов измерений в пассивных UHF RFID-сенсорах. Рассматриваются принципы формирования фазового отклика, математическая модель чувствительного элемента, а также особенности обработки фазовых данных. Показано, что фазовый метод обеспечивает высокую точность и устойчивость измерений в условиях многолучёвости и изменяющегося радиоканала, что делает его перспективным для применения в системах Интернета вещей.

Пассивные RFID-метки широко используются в современных системах идентификации и мониторинга. Однако традиционные методы, основанные на измерении мощности (RSSI, turn-on power), обладают низкой стабильностью и высокой зависимостью от условий распространения радиосигнала. В связи с этим актуальным является применение фазовых методов, обеспечивающих более высокую точность и воспроизводимость измерений.

Физический параметр среды (влажность, газовая концентрация, деформация, изменение диэлектрической проницаемости) влияет на импеданс антенны RFID-метки или подключённого чувствительного материала. Эти изменения вызывают сдвиг фазы обратнорассеянного сигнала, измеряемый ридером через I/Q-демодуляцию.

Использование **дифференциальной фазы** позволяет исключить влияние расстояния, ориентации и многолучёвости, что является ключевым преимуществом метода.

Фаза обратнорассеянного сигнала определяется суммой трёх компонентов:

- фазой распространения в свободном пространстве;
- фазой поляризационного несоответствия;
- фазой, обусловленной импедансом антенны и микросхемы RFID-метки.

Разностная фаза

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{изм}} - \Phi_{\text{опор}}$$

позволяет выделить вклад чувствительного элемента и минимизировать влияние внешних факторов.

Чувствительный элемент описывается параллельной RC-цепью, параметры которой изменяются под воздействием внешнего фактора. Параллельная схема подключения обеспечивает:

- широкий фазовый диапазон;
- умеренное влияние на энергосбор;
- высокую чувствительность к малым изменениям импеданса.

Экспериментальные исследования показывают:

- динамический диапазон фазового отклика достигает **100°**;
- разрешение после фильтрации составляет **1–2°**;
- чувствительность зависит от частоты, геометрии антенны и диапазона изменения импеданса чувствительного материала.

Для повышения стабильности измерений применяются:

- развёртка фазы;
- нормализация;
- спектральный анализ;
- низкочастотная FIR-фильтрация.

Такой подход обеспечивает высокую воспроизводимость результатов даже в условиях нестабильного радиоканала.

Преимущества фазового метода

- высокая чувствительность к малым изменениям импеданса;
- низкая зависимость от расстояния и ориентации;
- устойчивость к многолучёвости;
- совместимость с существующей RFID-инфраструктурой;
- отсутствие батареи и низкая стоимость реализации.

Фазовые методы измерений представляют собой эффективный инструмент для построения пассивных сенсорных систем нового поколения. Высокая точность, широкий динамический диапазон и

устойчивость к внешним факторам делают их перспективными для применения в системах мониторинга, «умной упаковки» и Интернета вещей.

Список использованных источников

1. D. M. Dobkin, *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*, Elsevier, 2007.
2. L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, 2010.
3. X. Jia et al., "RFID Technology and its Applications in IoT," *CECnet*, 2012.
4. L. Catarinucci et al., "An IoT-Aware Architecture for Smart Healthcare Systems," *IEEE IoT Journal*, 2015.