
Разработка электрически-малой печатной рамочной антенны для технологии NFC

Иванов Николай Васильевич
E-mail: ivanov_nikolay_spb@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования и разработки электрически-малой печатной рамочной антенны и согласующей цепи для нее. Согласующая цепь состоит из конвертора отрицательного импеданса и симметрирующего трансформатора. Показано, что использование конвертора отрицательного импеданса для согласования электрически-малой печатной рамочной антенны позволяет значительно увеличить полосу согласования.

Ключевые слова: конвертор отрицательного импеданса, печатная рамочная антенна, технология NFC

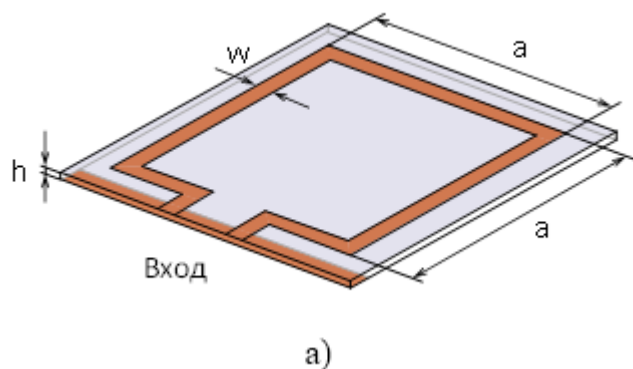
Введение

Одной из наиболее перспективных беспроводных технологий передачи данных, наряду с технологиями Wi-Fi и Bluetooth, является технология NFC. Основными преимуществами которой перед другими являются малый радиус действия, что уменьшает возможность перехвата данных, малое энергопотребление NFC модуля и полностью автоматический процесс сопряжения соединяемых устройств. Однако ширина полосы пропускания типичного NFC модуля составляет около 0,1%, но может быть расширена до 10-13% в зависимости от метода кодирования. Тем не менее этого недостаточно для передачи объемных мультимедиа файлов.

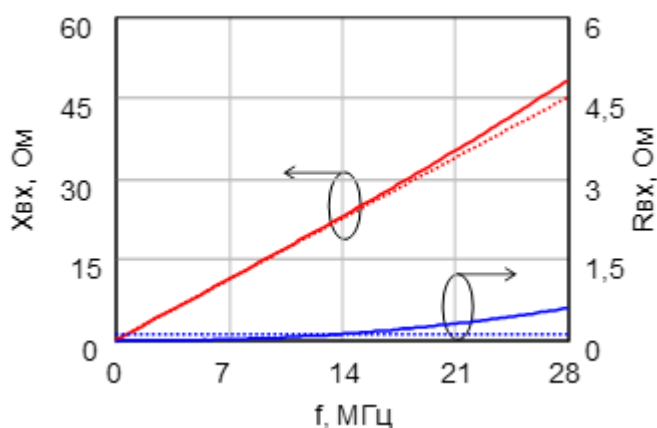
Расчет антенны

Перспективным решением задачи широкополосного согласования рамочной антенны, используемой в NFC модуле, является использование конвертора отрицательного импеданса (КОИ) или нефостеровского элемента, реализующего отрицательную индуктивность или емкость. КОИ могут быть реализованы на основе биполярных или полевых транзисторов и операционных усилителей [1-3].

В работе представлены результаты разработки согласующей цепи, состоящей из КОИ и симметрирующего трансформатора для широкополосного согласования электрически малой печатной рамочной антенны на частотах ниже частоты резонанса. Рамочная антенна выполнена со сторонами $a=100$ мм и шириной $w=5$ мм (Рисунок 1-а), на диэлектрической подложке Arlon AD 255 ($\epsilon_r = 2.55$, $\tan(\delta) = 0.0015$), толщиной $h=1.016$ мм с металлизацией толщиной 18 мкм. Частота последовательного резонанса антенны составляет 870 МГц. Таким образом, на частоте 13.56 МГц периметр кольца составляет $\lambda_g/64$, где λ длина волны в диэлектрике. На частотах менее 100 МГц частотная зависимость входного импеданса антенны может быть представлена эквивалентной схемой, состоящей из резистора $R = 0.38$ Ом и индуктивности $L = 18$ нГн (Рисунок 1-б).



a)



б)

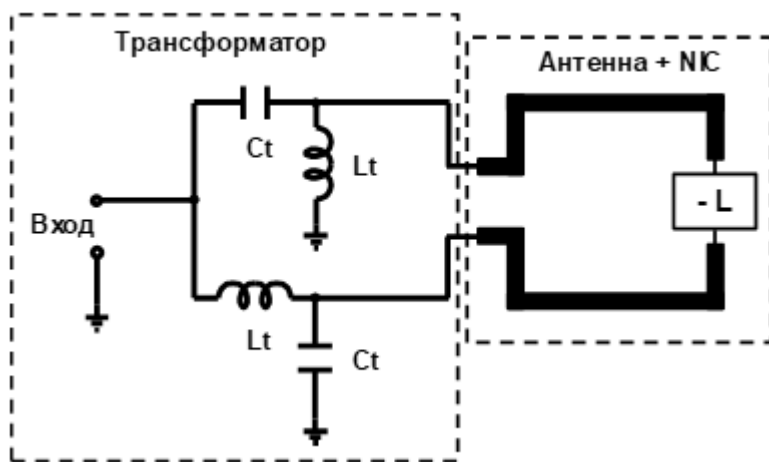
Рисунок 1 — Печатная рамочная антенна (а) и ее зависимость входного импеданса от частоты (б). Сплошными линиями показаны результаты ЭМ моделирования. Пунктирные линии соответствуют эквивалентной схеме антенны

Для компенсации мнимой составляющей входного импеданса рамочной антенны использовалась отрицательная индуктивность, эквивалентная -15 нГн. Таким образом, реактивность рамочной антенны скомпенсирована не полностью, что заведомо несколько ухудшает согласование, но позволяет обеспечить устойчивый режим работы активной цепи, реализующих отрицательную индуктивность.

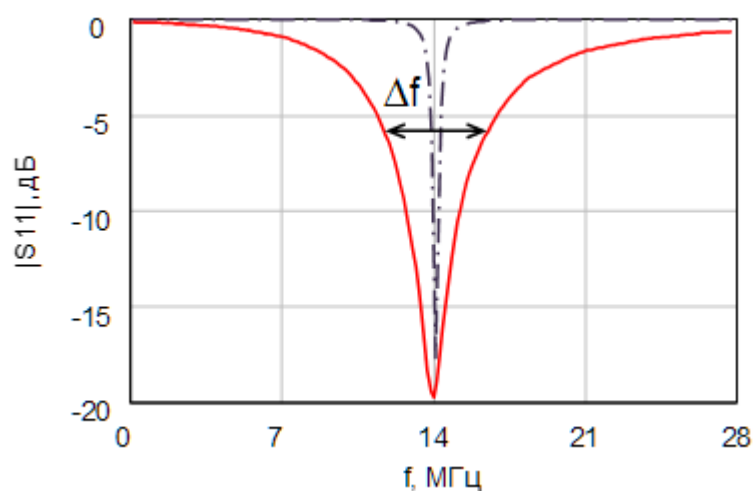
С целью преобразования вещественной составляющей входного импеданса рамочной антенны к сопротивлению генератора 50 Ом необходимо использовать симметрирующий трансформатор, который так же нужен для подключения балансного входа рамочной антенны к небалансному выходу генератора. Кроме того, с целью минимизации площади подложки, занимаемой СЦ, трансформатор должен быть выполнен в виде схемы на элементах с сосредоточенными параметрами.

Расчет согласующей цепи

Идеальная нефостеровская СЦ (Рисунок 2-а) для рамочной антенны ($L_t = 100$ нГн, $C_t = 100$ пФ) обеспечивает согласование по уровню -6 дБ в относительной полосе, равной 29% (Рисунок 2-б). В то же время при использовании традиционной СЦ полоса согласования не превышает 1% .



а)



б)

Рисунок 2 — Нефостеровская СЦ для рамочной антенны: эквивалентная схема (а); коэффициент отражения на входе СЦ при подключении к антенне для нефостеровской СЦ с отрицательной индуктивностью (сплошная линия) и для традиционной СЦ на основе положительной емкости (штрих-пунктир) (б)

Полоса согласования ограничена, прежде всего, рабочей полосой частот симметрирующего трансформатора и может быть расширена путем применения более сложной схемы трансформатора на основе большего числа элементов.

Для практической реализации нефостеровского элемента использовался КОИ на биполярных транзисторах рисунке 3. Реактивность X_k , которая составляет 15 нГн преобразуется ко входу КОИ в эквивалентную, равную по абсолютной величине, но противоположную по знаку.

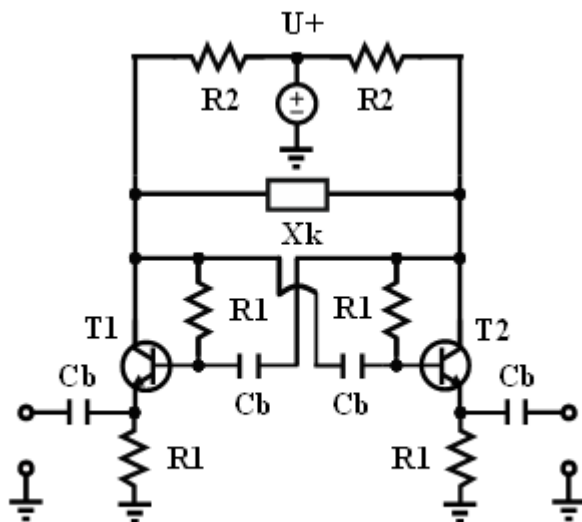


Рисунок 3 — Схема КОО на биполярных транзисторах

В КОО применены транзисторы BFQ67 производства NXP Semiconductors. Режим работы транзисторов задается резисторами R1 и R2.

Моделирование характеристик КОО и нефостеровской СЦ на его основе выполнялось в программном пакете NI AWR Design Environment. Результаты моделирования коэффициента отражения на входе активной нефостеровской СЦ при подключении к рамочной антенне (Рисунок 4) показаны сплошной линией в сравнении с характеристиками СЦ на основе идеальных нефостеровских элементов показанных штриховой линией.

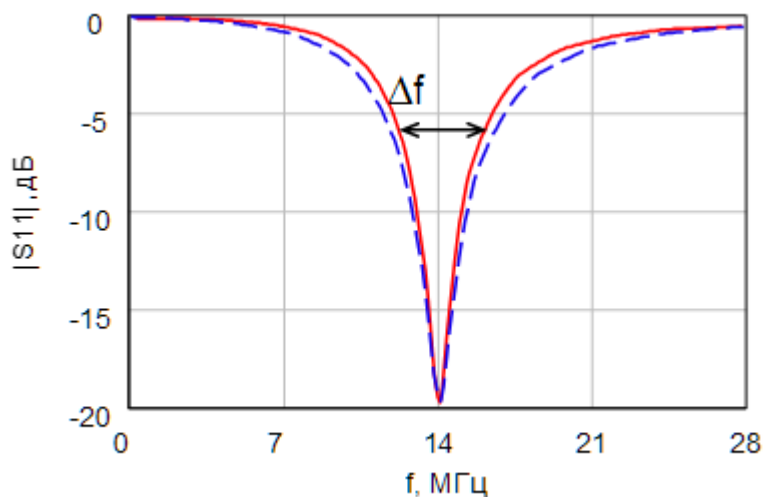


Рисунок 4 — Частотная зависимость коэффициента отражения на входе нефостеровской СЦ на биполярных транзисторах при подключении к рамочной антенне

Заключение

Выполнен теоретический расчет параметров антенны и согласующей цепи, ЭМ моделирование характеристик антенны без согласующей цепи. Установлено, что антенна имеет малую активную составляющую входного импеданса. Разработано схемотехническое решения для согласующей цепи с учетом результатов моделирования антенны состоящее из нефостеровской отрицательной индуктивности и симметрирующего трансформатора. Несмотря на некоторое сужение полосы согласования для СЦ на основе реальных нефостеровских элементов, преимущество использования нефостеровских СЦ для широкополосного согласования электрически-малой печатной рамочной

антенны очевидно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям.

Библиографический список

1. Aberle J. T., Loepsinger-Romak R. Antennas with Non-Foster Matching Networks. San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2007.
2. Linvill J. G. Transistor negative impedance converters// Proc. IRE. 1953. vol. 41, pp. 725-729.
3. Sussman-Fort S. E., Rudish R. M. Non-Foster impedance matching of electrically-small antennas // IEEE Trans. Antennas & Propag. 2009. vol. 57, no. 8. pp. 2230-2241.