

**Платонов Р.А.¹, Ястребов А.В.¹, Осадчий В.Н.¹,
Котельников И.В.¹, Косьмин Д.М.¹, Козырев А.Б.¹,
Салимов Р.В.², Тихонов Р.И.²**

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

²LG Electronics Russia R&D Lab., Санкт-Петербург

Система пространственно селективной передачи энергии СВЧ диапазона

Предложена система пространственно селективной передачи энергии с рабочей частотой ~ 5,7 ГГц на основе пассивной диаграммообразующей схемы – 8-канальной матрицы Батлера. Представлены результаты исследования эффективности пространственно селективной передачи энергии СВЧ диапазона на основе компьютерного электродинамического моделирования и экспериментального измерения прототипа системы.

Ключевые слова: Антенная решетка, беспроводная передача энергии.

Последние годы характеризуются растущим интересом к системам беспроводной передачи энергии (СБПЭ), что связано с развитием таких концепций как Интернет Вещей (IoT), сети пятого поколения (5G), пассивной радиочастотной идентификации (RFID) [1]. Развитие СБПЭ потенциально способно решить проблему питания сетей нового поколения на основе датчиков и устройств без элементов питания, расположенных в труднодоступных местах, в агрессивной окружающей среде и выполненных в герметичном корпусе.

В общем случае СБПЭ можно разделить на два типа: реактивные (ближнепольные) и направленные (дальнепольные). Реактивные СБПЭ, основаны на индуктивной или ёмкостной связи между передатчиком и приемником, такие системы характеризуются малой дальностью, более того возникает сложность в обеспечении передачи энергии до нескольких потребителей одновременно.

Направленные СБПЭ работающие в СВЧ диапазоне способны обеспечить передачу энергии нескольким объектам за счет управления положением луча диаграммы направленности (ДН) передатчика. Традиционной антенной системой с управляемой ДН являются фазированные антенные решетки (ФАР), способные обеспечить двумерное сканирование узким лучом ДН в широком диапазоне углов. Однако ФАР характеризуются высокой стоимостью за счет применения фазовращателей и достаточно сложным способом управления ДН. С точки зрения простоты конструкции и способа управления ДН, альтернативой ФАР могут являться пассивные диаграммообразующие схемы, такие как матрица Батлера (МБ) [2].

В данной работе представлены результаты исследования эффективности СБПЭ с рабочей частотой 5.7 ГГц на основе МБ размерностью 8x8. На Рисунке 1 представлена схема прототипа СБПЭ с возможностью управления положением луча ДН за счет переключения между двумя каналами МБ с помощью SPDT переключателя. Использование 2 каналов МБ связано с упрощением цепи управления прототипом СБПЭ.

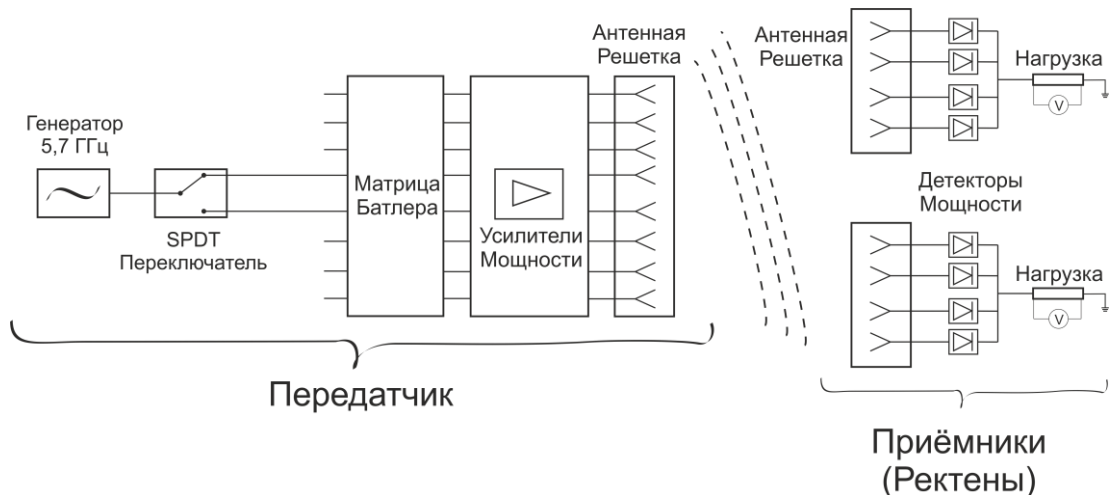


Рис. 1. Структурная схема СБПЭ.

Эффективность преобразования СВЧ СБПЭ зависит от таких параметров системы как: направленность передающей и приёмной антенны, топологии выпрямляющей цепи и способа конфигурации ректенной решетки [3].

Предварительная оценка полного DC/DC преобразования производится по формуле [1,4]:

$$\eta = \eta_{amp} \eta_{beam} \eta_{rec}, \quad (1)$$

где, η_{amp} – эффективность преобразования DC/RF, определяется характеристиками СВЧ усилителя в питающем тракте передающей антенны; η_{rec} – эффективность RF/DC преобразования, определяется характеристиками ректенны; η_{beam} – эффективность RF/RF передачи энергии, определяется направленностью передающей и приемной антенн, а также расстоянием между ними.

Для оценок эффективности передачи энергии, диапазоны возможных значений величин η_{amp} , η_{rec} были выбраны на основе литературного обзора и составляют $\eta_{amp}=(60\dots90\%)$ и $\eta_{rec} = (40\dots80\%)$.

Значение эффективности RF/RF преобразования оценивалась по формуле [4]:

$$\eta_{beam} = 1 - \exp(-\tau^2)$$

$$\tau^2 = \frac{A_t A_r}{(\lambda D)^2}, \quad (2)$$

где A_t , A_r – размер апертуры передающей (Tx) и приемной (Rx) антенны, соответственно; λ – длина волны в свободном пространстве; D – расстояние между антеннами.

На Рисунке 2 приведено сравнение η_{beam} рассчитанного по формуле (2) и полученного на основе 3D электродинамического моделирования методом конечных элементов в программе HFSS при размере апертуры передающей антенны $25 \times 25 \text{ см}^2$. Расхождения в результатах наблюдается при малых расстояниях от передающей антенны.

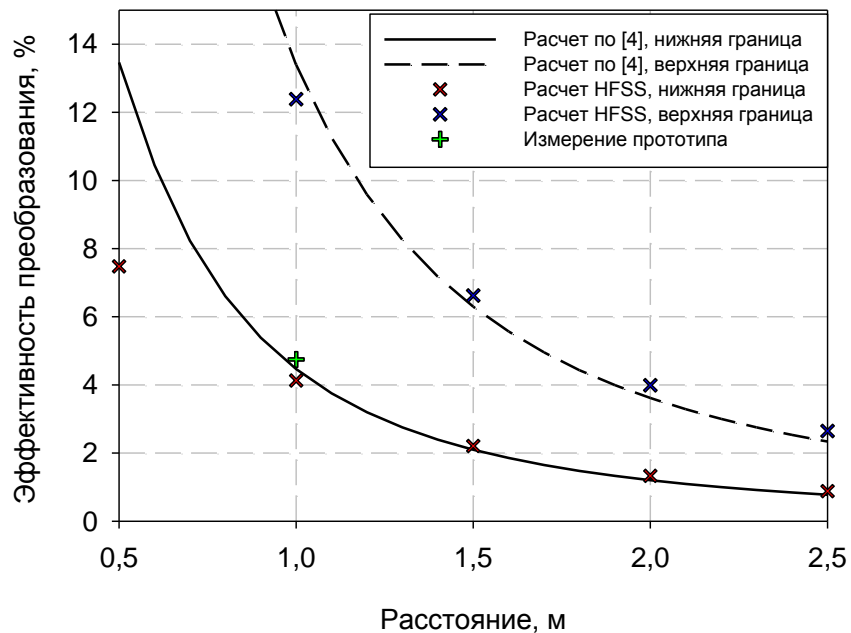


Рис. 2. Эффективность DC/DC передачи энергии.

Результаты измерений прототипа СБПЭ демонстрируют КПД преобразования ~5% что соотносится с теоритической оценкой эффективности.

Библиографический список

1. Europe and the Future for WPT : European Contributions to Wireless Power Transfer Technology // IEEE Microwave Magazine. – 2017. - V. 18, № 4, P. 56-87.
2. Wincza, K Broadband Integrated 8x8 Butler Matrix Utilizing Quadrature Couplers and Schiffman Phase Shifters for Multibeam Antennas With Broadside Beam / K. Wincza, S. Gruszczynski // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2016. - V. 64, № 8 . -P. 2596-2604.
3. Olgun, U. Investigation of Rectenna Array Configurations for Enhanced RF Power Harvesting / U. Olgun, C. C. Chen, J. L. Volakis // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2011. - V. 10. - P. 262-265.
4. Shinohara, N. Beam Efficiency of Wireless Power Transmission via Radio Waves from Short Range to Long Range / N. Shinohara // Journal of Electromagnetic Engineering And Science. – 2010. – V. 10, №4. - P. 224-230.