

Разработка приемной антенны для системы передачи энергии и зарядки аккумуляторов тыловых динамиков беспроводного домашнего кинотеатра

Н.Н. Королев, Е.П. Денисенко

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ*

Аннотация: В качестве решения устраняющего недостаток проводных домашних кинотеатров – множественность сигнальных и питающих проводов – предложен способ беспроводной передачи энергии для зарядки аккумуляторных батарей боковых и тыловых динамиков на частоте 2,45 ГГц. Энергия СВЧ излучения преобразуется в энергию для заряда аккумуляторов при помощи специального приемного модуля. Приемный модуль включает в себя приемную антенну, выпрямитель и контроллер питания. В данной статье рассматриваются вопросы расчета приемной антенны для указанной системы в структуре беспроводного домашнего кинотеатра. Для проведения моделирования выбрана антенна типа Yagi-Uda, для которой определялись коэффициент усиления и ширина диаграммы направленности. В ходе первого этапа моделирования были получены параметры антенны, неудовлетворительные по ширине диаграммы направленности. На втором этапе была проведена модернизация конструкции антенны и проведено повторное моделирование, по результатам которого можно сделать вывод об улучшении указанных параметров приемной антенны в 1,5 раза, при этом коэффициент усиления увеличился на 13%.

Ключевые слова: беспроводной домашний кинотеатр, беспроводная передача энергии СВЧ, приемный модуль, антенна Yagi-Uda, упрощенный диполь Ландтофера, патч-антенна, показатель эффективности антенны, диаграмма направленности, коэффициент усиления, коэффициент отражения

Введение

В результате анализа существующих систем беспроводных домашних кинотеатров, можно сделать вывод, что фактически, они остаются проводными. При беспроводной трансляции звука на тыловые и боковые динамики с помощью технологий Li-Fi или WiSA, им требуется проводная система питания. Рассматривать варианты с работой динамиков от предзаряженных аккумуляторов не будем, так как, по истечении какого-то времени аккумулятор разрядится, а до конца любимого кино останется еще полчаса. В результате возникает необходимость в беспроводной передаче энергии. Один из вариантов это зарядка с помощью СВЧ сигнала.

Беспроводная передача энергии (БПЭ) – это идея передачи энергии беспроводным способом [1]. В общем, БПЭ может быть достигнута как с помощью излучения на большие расстояния, вблизи полевой индуктивной связи, так и среднечастотной резонансной затухающей связи. В данной работе мы будем рассматривать БПЭ с помощью излучения на большое расстояние. Следовательно, БПЭ, упомянутая ниже, означает дальнюю БПЭ.

БПЭ имеет следующие преимущества:

- передача энергии по беспроводной сети для устройств на расстоянии;
- устраняется потребность в регулярной зарядке батареи.

Практическому применению БПЭ было положено начало в системах дистанционного управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) с помощью передачи энергии СВЧ-излучения с земли в 1950-х годах, при этом впервые была разработана антенна с встроенной выпрямительной схемой «Rectenna» [2]. Rectenna состоит из двух частей: приемной антенны и схемы выпрямителя. Приемная антенна фиксирует входящую мощность радиочастот, а затем мощность радиочастот проходит через цепь выпрямителя и преобразуется в мощность постоянного тока. С тех пор были проведены многочисленные исследовательские работы для изучения потенциала БПЭ и расширения спектра его применения. Применение БПЭ можно условно разделить на две категории: высокопроизводительная и маломощная БПЭ, которые имеют разные целевые приложения, где для разработки системы принимаются различные методологии проектирования. Конструкция системы БПЭ представленной в этой статье является высокопроизводительной, позволяющая заряжать аккумулятор динамика беспроводным способом.

Разработка приемной антенны

Для системы беспроводной зарядки необходима антенна с высоким коэффициентом усиления и имеющая небольшой размер. Другим условием

для выбора антенны является низкое сопротивление антенны для хорошего прямого согласования с выпрямителем, что позволит избежать дополнительных потерь в сети [3-6]. Из-за конструкции выпрямителя схема требует наличия асимметричного источника от антенны. Это может быть реализовано асимметричной антенной, например, микрополосковой (также называемой патч) антенной или симметричной антенной с дополнительным балуном [7-9]. Поэтому были оценены различные подходы к возможности получения высокого усиления, связанные с общим геометрическим размером антенны. Различные модели антенн, в том числе: полуволновый диполь (рис. 1,*а*), триблок-линии (упрощенные диполи Ландтофера) (рис. 1,*б*), патч (рис. 1,*в*) и Yagi-Uda (рис. 1,*г*), были рассмотрены для применения в БПЭ.

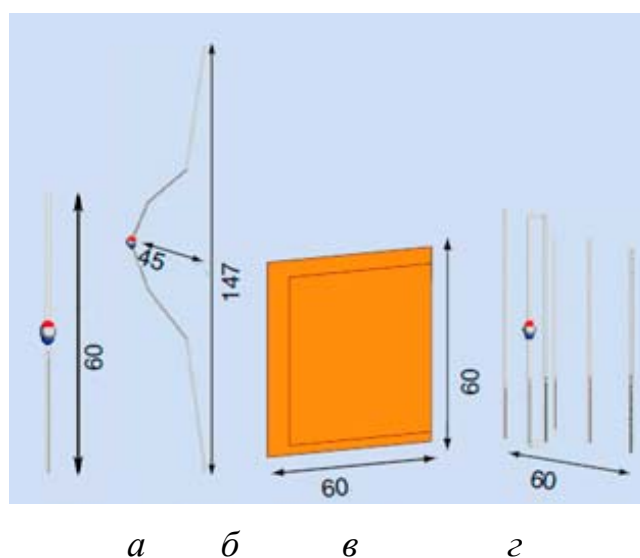


Рис. 1. – Модели антенн: полуволновый диполь (*а*), трижды ломаный диполь (*б*), патч-антенна (*в*), 5-ти элементная антенна Yagi-Uda (*г*)

Оценка конструкции антенны производится с помощью показателя эффективности (EFoM), рассчитанного по нормированной выходной мощности P_L более 10 нВт, деленной на наибольший общий размер D антенны в квадрате и нормированной на площадь 25 см^2 [10].

$$EFoM = 10 * \text{Log} \left| \frac{\left(\frac{P_L (\mu W)}{10 \mu W} \right)^2}{\frac{D^2 (cm^2)}{25 (cm^2)}} \right|$$

Наилучшие результаты для данной задачи были достигнуты с помощью пятиэлементной антенны Yagi-Uda, изображенной на рис. 2.

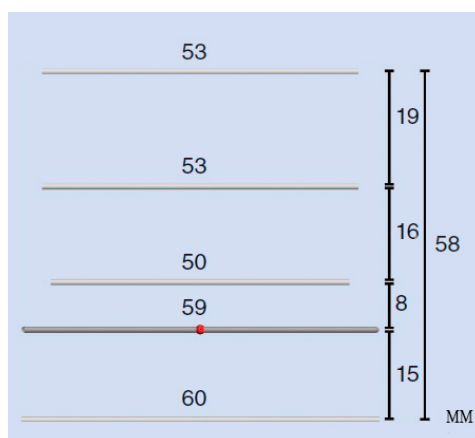


Рис. 2. – Размеры элементов приемной антенны Yagi-Uda

Пятиэлементная антенна Yagi-Uda с длиной всего 58 мм, что приблизительно равно половине длины волны, обеспечивает коэффициент усиления 9,6 дБи. Окончательная структура антенны выполнена с медными проводами диаметром 1 мм на изолированном полилактате (PLA).

В результате моделирования антенны с выбранными параметрами мы получили ее диаграмму направленности, усиление на частоте 2,45 ГГц равное 9,58 dBi и коэффициент отражения S_{11} равный -28.6 Дб, что представлено на рис.3 и рис. 4. Из результатов моделирования видно, что ширина диаграммы направленности равна $77,1^\circ$. Данное значение нас не устраивает, так как оно слишком велико, а плотность мощности мала. Поэтому, в ходе дополнительного моделирования, в котором было увеличено количество директоров антенны, были получены новые параметры разрабатываемой антенны (рис. 5).

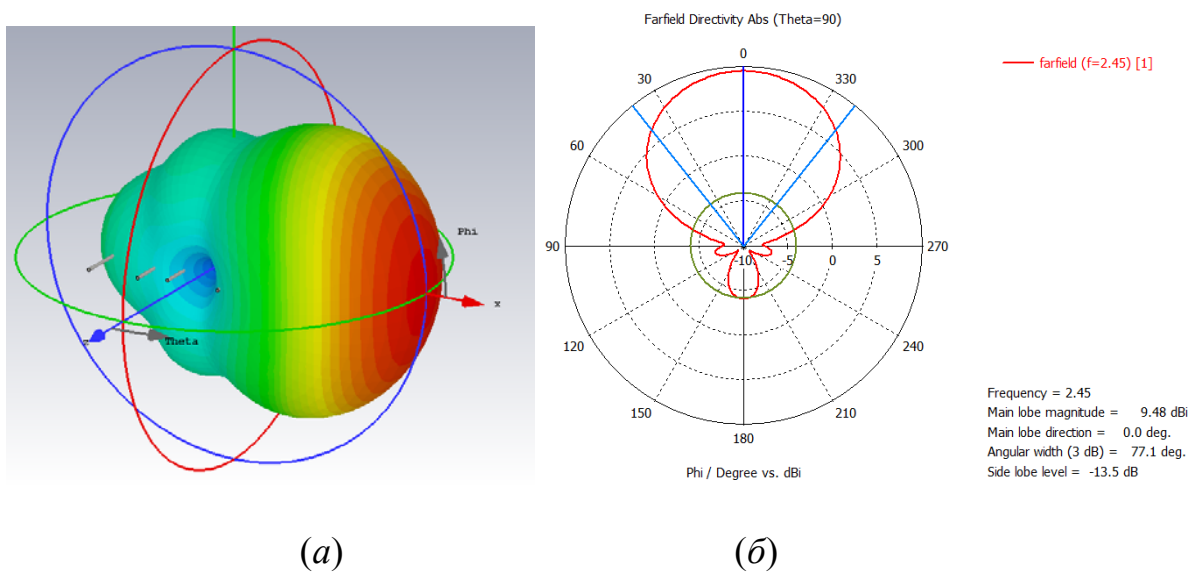


Рис. 3. – Диаграмма направленности антенны:
в 3D (a) и в полярной системе координат (б)

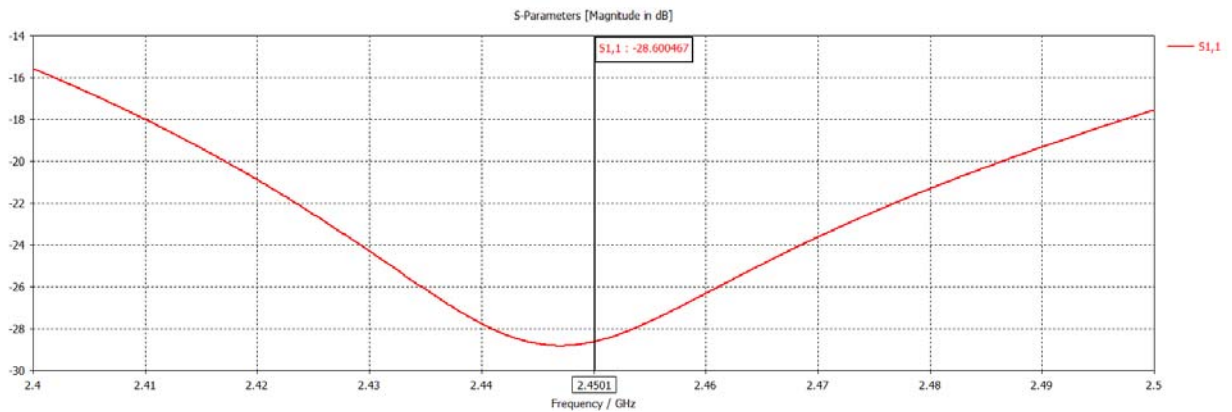


Рис. 4. – Коэффициент отражения смоделированной антенны

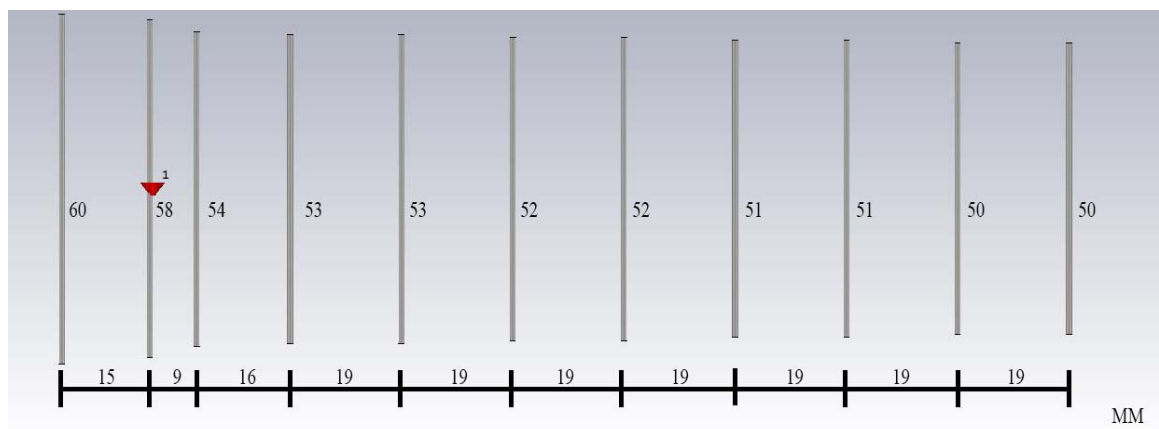


Рис. 5. – Размеры второго варианта антенны

Для сужения диаграммы направленности мы были вынуждены увеличить размеры антенны до 17,5 см.

В результате усиление на частоте 2,45 ГГц стал равным 10,7 dBi, а коэффициент отражения S_{11} равный -35 Дб, ширина угла диаграммы направленности стала равна $49,3^\circ$, что представлено на рис.6 и рис. 7.

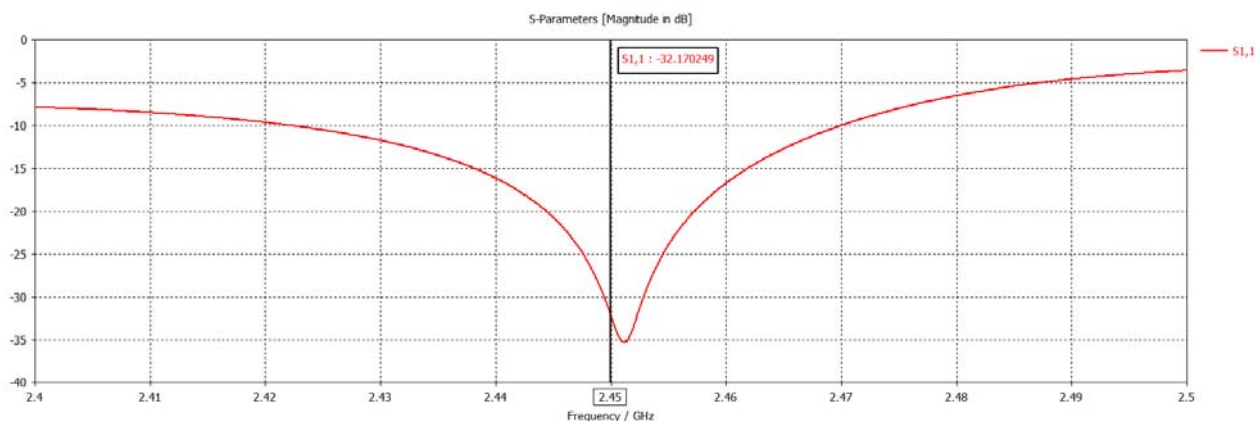


Рис. 6. – Коэффициент отражения второй антенны

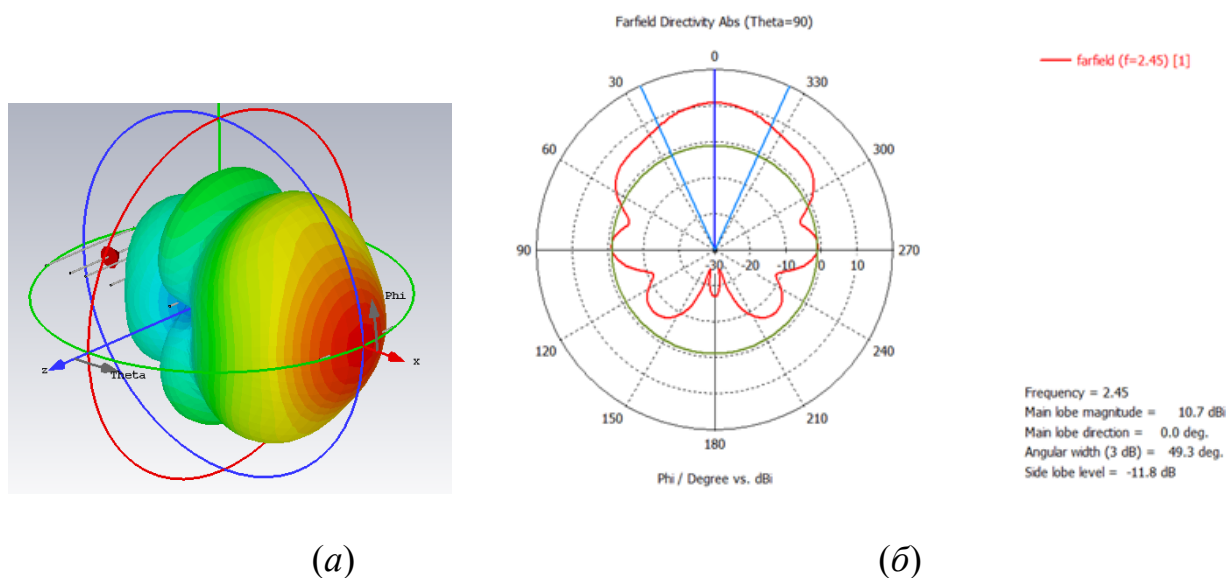


Рис. 7 – Диаграмма направленности модернизированной антенны:
в 3D (a) и в полярной системе координат (б)

Заключение

В данной статье рассматривалась разработка антенны типа Yagi-Uda для применения в системах беспроводной зарядки тыловых динамиков домашнего кинотеатра. В результате расчетов, мы вынуждены были отказаться от рекомендуемых размеров и увеличить длину антенны в 3 раза для обеспечения узкой диаграммы направленности на источник излучения. Итоговые размеры антенны составили 17,5 сантиметров. Антенна с такими габаритами может устанавливаться в корпусе тылового динамика. В дальнейшем возможна разработка аналогичной антенны, но выполненной в виде печатной платы для достижения более компактной конструкции.

Литература

1. Mehrotra R. Cut the cord: wireless power transfer, its applications, and its limits. URL: cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/power/index.html.
 2. Mohammed S.S., Ramasamy K., and Shanmuganatham T. Wireless power transmission – a next generation power transmission system // International Journal of Computer Applications. 2010. Vol. 1, pp. 100–103.
 3. Hayashino K., Kume H., Fukui K., Iwasaki Y., Ao J.-P., and Ohno Y. Suppression of Reflection from GaN SBD Rectenna Circuit Using Harmonic Rejection Filter // 2013 IEICE General Conf. 2013. C-2-6. pp. 37.
 4. Kashimura R., Seki T., and Sakaguchi K. A study of Bias Controlled High Efficiency Rectifying Antenna Structure // Wireless Power Transfer. 2016. Vol. 116, no. 321. pp. 1-6.
 5. Pozar D.M. Microwave Engineering. John Wiley & Sons, 2009. 256 p.
 6. Vera G.A., Georgiadis A., Collado A., and Via S. Design of a 2.45 GHz rectenna for electromagnetic (EM) energy scavenging // Proc. IEEE Radio Wireless Symp. 2010. pp. 61-64.
 7. Balanis C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. 2nd ed. New York: Wiley, 1997. 86 p.
-

8. Веденькин Д.А., Хабибуллин Р.Р., Васильев Е.В. Анализ характеристик материалов в диапазоне метровых волн резонансным методом // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4276.

9. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е. Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне // Инженерный вестник Дона. 2017. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4233.

10. Веденькин Д.А., Васильев Е.В., Хабибуллин Р.Р. Напряженность поля симметричного вибратора, как элемента сфокусированной апертуры по широкополосному сигналу // Инженерный вестник Дона. 2017. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4268.

References

1. Mehrotra R. URL: cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/power/index.html.
 2. Mohammed S.S., Ramasamy K., and Shanmuganantham T. International Journal of Computer Applications. 2010. Vol. 1, pp. 100–103.
 3. Hayashino K., Kume H., Fukui K., Iwasaki Y., Ao J.-P., and Ohno Y. 2013 IEICE General Conf. 2013. C-2-6. pp. 37.
 4. Kashimura R., Seki T., and Sakaguchi K. Wireless Power Transfer. 2016. Vol. 116, no. 321. pp. 1-6.
 5. Pozar D.M. Microwave Engineering. John Wiley & Sons, 2009. 256 p.
 6. Vera G.A., Georgiadis A., Collado A., and Via S. Proc. IEEE Radio Wireless Symp. 2010. pp. 61-64.
 7. Balanis C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. 2nd ed. New York: Wiley, 1997. 86 p.
 8. D.A. Veden'kin, R.R. Habibullin, E.V. Vasil'ev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4276.
 9. D.A. Veden'kin, D.E. Sharonov. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4233.
-



10. D.A. Veden'kin, E.V. Vasil'ev, R.R. Habibullin. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4268.