

Современное состояние теории и практики построения электрически малых антенн

Жусупов Теймур Кабылдаевич;
ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск);
АО «ОНИИП» (Омск).

Агарков Никита Евгеньевич;
ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск);
ИРФЭ ОНЦ СО РАН (Омск);
АО «ОНИИП» (Омск).

Цель работы

Целью данной работы является рассмотрение результатов, полученных за последние годы в области теории построения электрически малых антенн.

Что такое ЭМА ?

Электрически малые антенны – это антенны, для которых выполняется условие (1).

$$ka < 1, \quad (1)$$

Где $k = 2\pi / \lambda$ - волновое число, λ - длина волны, a - радиус условной сферы, охватывающей максимальный размер антенны-диполя, либо радиус соответствующей полусферы для монополя.

Что такое ЭМА ?

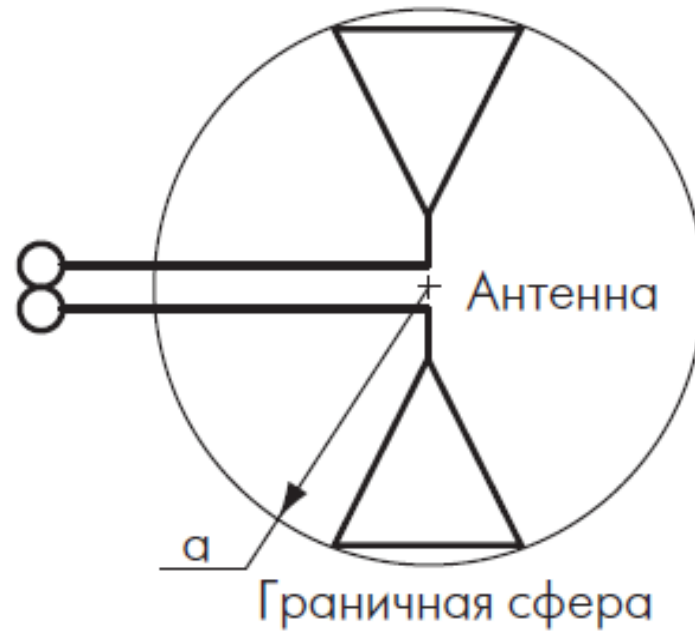


Рис.1. К описанию ЭМА

Что такое ЭМА ?

ЭМА имеют следующие особенности:

- низкое сопротивление излучения,
- большое реактивное сопротивление,
- низкий КПД,
- узкую ширину полосы рабочих частот,
- большие активные потери в цепи согласования.

Добротность

Одной из наиболее важных характеристик антенны, определяющей полосу рабочих частот, является ее добротность излучения (формула 2).

$$Q = \begin{cases} \frac{2\omega W'_e}{P}, & W'_e > W'_m \\ \frac{2\omega W'_m}{P}, & W'_m > W'_e \end{cases} \quad (2)$$

Фундаментальное ограничение, согласно которому добротность Q не может превосходить значения формулы (3).

$$Q = \left[\frac{1}{(ka)^3} + \frac{1}{ka} \right], \quad (3)$$

Где ka – электрический радиус сферы.

Добротность

Приближенное выражение для добротности, утоняющее выражение (1)

$$Q = \left[\frac{1}{2(ka)^3} + \frac{1}{\sqrt{2}ka} \right], \quad (4)$$

$$B\eta_r = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{1}{ka} + \frac{1}{2(ka)^3} \right)^{-1}, \quad (5)$$

Где B – полоса пропускания, η_r – КПД антенны

Потери в ЭМА

Эффективность излучения определяется формулой (6).

$$\eta = R_{rad} / (R_{rad} + R_{loss}) \quad (6)$$

Где

R_{rad} — сопротивление излучения, R_{loss} — сопротивление потерь, которое включает в себя потери в проводнике R_{La} , потери в согласующей схеме R_{Lc} , потери в подстилающей поверхности R_{Lc} .

Примеры реализации ЭМА

Меандровая инвертированная-F антенна (MIFA) — это модификация IFA антенны, у которой основной печатный проводник в виде меандра. Данная модификация позволяет сделать антенну еще более компактной. MIFA может быть интегрирована непосредственно в плату разрабатываемого устройства.



Рис. 2. Внешний вид MIFA.

Примеры реализации ЭМА

Планарные инверсные F-образные антенны (planar inverted-F antenna (PIFA)), одна из разновидностей IFA-антенн, в настоящее время являются одной из наиболее распространенных конструкций в мобильных беспроводных устройствах.

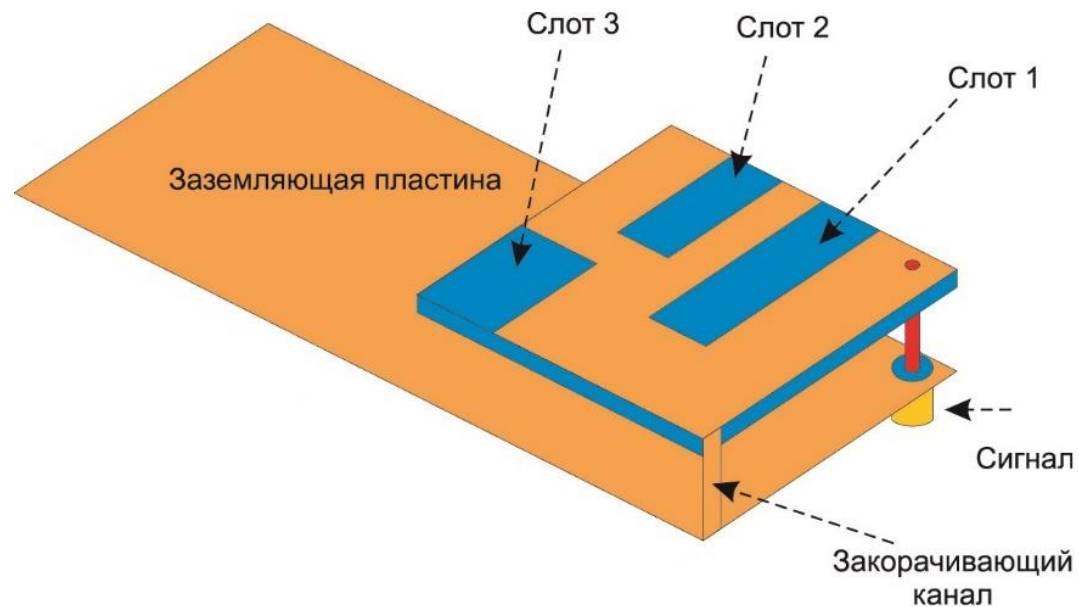


Рис. 2. Внешний вид PIFA.

Заключение

В докладе рассмотрены результаты, полученные за последние годы в области теории построения электрически малых антенн. Изложены различные подходы к проблеме оценки добротности излучения. Освещены возможности уменьшения габаритных размеров антенн.

Литература

1. Wheeler H.A. Fundamental Limitations of Small Antennas // Proc. I.R.E. 1947. Vol. 35. P. 1479–1484.
2. Chu L.J. Physical limitations of omni-directional antennas // J. Appl. Phys. – 1948. – Vol. 19. – P. 1163–1175.
3. Harrington R.F. Effect of antenna size on gain, bandwidth, and efficiency // J. Res. Nat. Bur. Stand. – 1960. – Vol. 64D, No 1. – P. 1–12.
4. Collin R.E. Evaluation of antenna Q / R.E. Collin, S. Rothschild // IEEE Trans. on Antennas and Propag. – 1964. – Vol. 12, No 1. – P. 23–27.
5. McLean J.S. A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas // IEEE Trans. on Antennas Propag. – 1996. – Vol. 44, No 5. – P. 672–675.
6. В.П. Беличенко, А.С. Запасной. Электрически малые антенны: проблемы, сомнения, новые результаты // Доклады ТУСУРа. – No 2(24), ч. 2. – 2011. дек. – С. 186–189.
7. Thal H.L. New radiation Q limits for spherical wire antennas // IEEE Trans. on Antennas and Propag. – 2006. – Vol. 54, No 10. – P. 2757–2763.

8. Hansen R.C. A new Chu formula for Q / R.C. Hansen, R.E. Collin // IEEE Antennas and Propagation Magazine – 2009. – Vol. 51, No 5. – P. 38–41.
9. Experimental validation of performance limits and design guidelines for small antennas / Sievenpiper, D. Dawson, M. Jacob, T. Kanar, S. Kim, J. Long, and R. Quarfoth // IEEE Trans. On Antennas Propag. 2012. Vol. 60. No 1. P. 8-19.
9. Fujimoto K., Morishita H. Modern small antennas / Kyohei Fujimoto, Hisashi Morishita. - Cambridge ; New York : Cambridge univ. press, 2013. P. 17-18, 39.
10. Белянский В.Б. Возможно ли преодолеть предел Чу-Харрингтона ? // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт
11. Беличенко В.П. Фундаментальные пределы теории антенн // Известия высших учебных заведений. Физика 2011. Т.55. № 8/2. С. 57-59.
12. Слюсар В. 60 лет теории электрически малых антенн // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. 2006. №7. С.10-19.
13. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: основные принципы и результаты // Первая миля. 2010. Вып. 3-4.
14. Бойко С.Н., Веселаго В.Г. Виноградов Е.А., Жуков А.А. Малогабаритные антенны на основе метаматериалов // Антенны. 2012, № 12. С. 32-41