

Плоская электрически малая антенна УКВ диапазона

М. И. Сугак

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

sugakmi@yandex.ru

Ю. Г. Антонов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

yuryant@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты моделирования, оптимизации и экспериментального исследования электрически малой антенны УКВ диапазона, предназначенной для эксплуатации на борту компактного носителя. Антенна выполнена по печатной технологии на плате из материала FR-4, с характерными размерами порядка 0.035 длины волны. При проектировании центральное внимание обращалось на максимизацию коэффициента усиления (КУ) с учетом требований на малые размеры и полосу рабочих частот по согласованию. Приведены расчетные и экспериментальные частотные зависимости КУ и коэффициента отражения в тракте питания.

Ключевые слова: электрически малые антенны, УКВ антенны, коэффициент усиления, полоса рабочих частот

I. ВВЕДЕНИЕ

В данной работе требовалось в условиях весьма ограниченных размеров разработать и оптимизировать геометрию плоской антенны (характерный размер 80x80 мм) метрового диапазона, предназначенной для установки на малогабаритном носителе, с полосой рабочих частот порядка ± 1 МГц относительно центральной частоты, максимальным коэффициентом усиления и линейной поляризацией. Кроме того, требовалось учесть электродинамическое влияние проводящего корпуса носителя на характеристики антенны. В конструкции антенны допустимо применение материалов, соответствующим условиям эксплуатации. Желательно обеспечение возможности работы антенны в передающем режиме.

II. ГЕОМЕТРИЯ АНТЕННЫ

В сформулированной задаче обращает на себя внимание, прежде всего, исключительно малые электрические размеры антенны (примерно 0.04–0.03 длины волны). Это типичная задача оптимизации электрически малой антенны (ЭМА), часто возникающая в системах связи специального назначения, массовых телекоммуникационных системах и т. п. Решение задачи осложнено существенным влиянием корпуса носителя, который влияет на согласование антенны в диапазоне рабочих частот. Отметим две основные проблемы ЭМА:

- узкая полоса рабочих частот, обусловленная резким (кубическая зависимость от электрических размеров антенны в знаменателе) увеличением добротности для любых ЭМА, независимо от способа их реализации;

- низкое значение коэффициента полезного действия, приводящего неизбежно к низкому значению коэффициента усиления (КУ).

Хорошо известно, что эти проблемы имеют принципиальный характер [1–5]. Таким образом, из анализа требований к антенне следует, что они принципиально противоречивы, т. к. требование максимизации КУ для ЭМА в заданной полосе частот при ряде дополнительных ограничений может быть реализовано только в виде поиска компромисса между КУ и рабочей полосой частот. При этом предполагаемые решения приводят к низким значениям КУ (порядка минус 20–40 дБ). Столь низкие значения КУ в некоторых приложениях не носят катастрофического характера, в этих случаях энергетика канала связи восполняется повышением мощности передатчика на передающем конце.

Возможные варианты решения задачи сводятся к выбору между узкополосной (с мгновенной полосой, позволяющей пропустить только полезный спектр сигнала) перестраиваемой антенной с относительно высокими значениями КУ и антенной с низким КУ и относительно широкой полосой рабочих частот по заданному критерию согласования. Полоса рабочих частот может быть обеспечена искусственным введением тепловых потерь за счет применения резистивных элементов, или использованием «естественных» неизбежных тепловых потерь в диэлектрической подложке и металле, т. к. геометрические размеры антенны строго фиксированы и электрически малы.

Теория ЭМА и большой опыт их электродинамического моделирования свидетельствует, что основные предельные энергетические характеристики определяются электрическим радиусом сферы, в которую может быть вписана антенна [1]. Стратегия исследования заключается в выработке гипотетической конфигурации антенны в соответствии с заданными требованиями и электродинамическим моделированием, и оптимизации характеристик средствами универсального электродинамического пакета «CST Studio». Учитывая предполагаемые особенности эксплуатации разрабатываемого устройства, при разработке необходимо было ориентироваться на материал подложки, который гарантированно подходит для этих целей и обладает доступностью и низкой стоимостью (FR-4).

В литературе известны плоские печатные ЭМА вибраторного типа с меандровыми структурами [5–7], однако, непосредственное применение этих идей в данном случае оказалось невозможно по причине низкого уровня согласования при требуемых ограничениях.

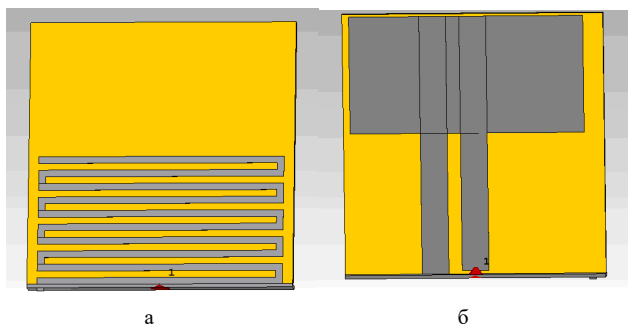


Рис. 1. Геометрия разработанной ЭМА: а, б

Предлагаемая структура антенны (рис. 1а, б) отчасти похожа на известное решение, описанное в работах [5, 8], наличием распределенной меандровой структуры с одной стороны подложки и собственно излучателя – с другой. Наличие этой структуры (по сути, распределенной индуктивности) позволяет скомпенсировать емкостной характер реактивного входного сопротивления, что требуется для согласования ЭМА с фидером. Вместе с тем, пришлось существенно переработать противоположную сторону печатной платы антенны (рис. 1б), здесь для повышения вещественной части входного сопротивления, оказалось необходимого для согласования со стандартным 50-омным фидером в требуемой полосе частот ввести дополнительную концевую развитую емкостную нагрузку (широкая поперечная металлическая шина в верхней части антенны). Кроме того, для повышения вещественной части входного сопротивления реализовано шлейфное питание. Подключение кабеля производится в точке порта (красный конус на рис. 1).

Расчетная ДН исследуемой антенны в свободном пространстве приведена на рис. 2.

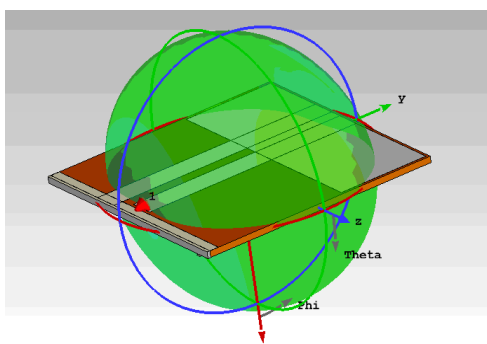


Рис. 2. Расчетная ДН разработанной ЭМА



Рис. 3. ЭМА в составе носителя

При установке ЭМА на носитель за счет протекания токов по элементам его конструкции наблюдается некоторое (около 1.5 процента) смещение частоты наилучшего согласования в область низких частот.

Измерение КУ изготовленной антенны выполнялось в лабораторных условиях с применением метода двух антенн, при этом для исключения кабельного эффекта две идентичные антенны были установлены на проводящей поверхности значительных размеров, площадью около 1 кв. м (рис. 4).

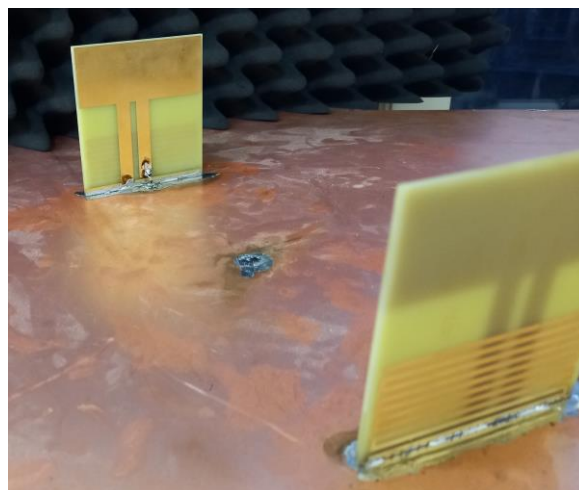
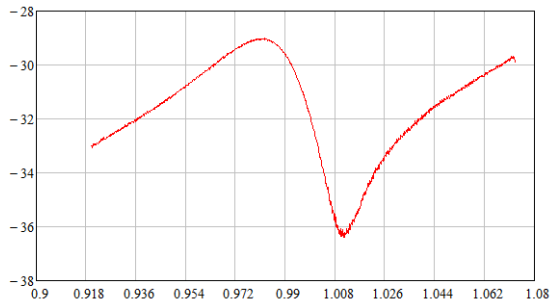
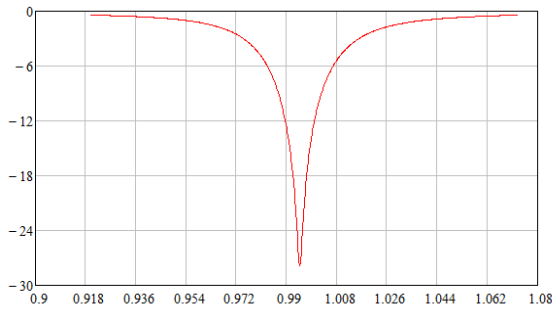


Рис. 4. Стенд для измерения КУ ЭМА



а



б

Рис. 5. Частотные зависимости: а) КУ; б) коэффициента отражения в тракте питания ЭМА

Результаты измерения основных характеристик исследуемой антенны приведены на рис. 5а, б, здесь по оси аргументов отложена нормированная частота. Видно, что значение КУ в полосе согласования не превышает уровень минус 30 дБ. Имеет место хорошее соответствие с данными, полученными при моделировании.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все известные закономерности ЭМА в данном проекте наблюдаются в ярком виде. Наиболее острые ограничения – малые электрические размеры и сравнительно широкая требуемая полоса рабочих частот

приводят к низким значениям КУ. Попытки улучшения КУ за счет применения других подложек, которые предпринимались в данной работе (с меньшими потерями или меньшей толщиной), позволяют получить рост КУ до значений порядка минус 20 дБ и сужению полосы рабочих частот до 200 кГц (эти результаты здесь не приводятся). Т. о. улучшить значения КУ можно только отказавшись от требуемой полосы рабочих частот в сторону ее существенного уменьшения или, применив антенну с управляемыми элементами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражает благодарность А.О. Любезникову за стимулирование данной работы и коллегам, сотрудникам антенной группы каф. ТОР СПбГЭТУ «ЛЭТИ», за полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] J.L. Volakis, C.C. Chen, K. Fujimoto. Small antennas. Miniaturization techniques and application. Mc Graw Hill. 2010.
- [2] H.A. Wheeler, "Fundamental limitations of small antennas" // Proceedings of the IRE, vol.35, December 1947, pp. 1479-1484.
- [3] R.C. Hansen, "Fundamental limitations in antennas" // Proceedings of the IEEE vol.69, no 2, February 1981, pp. 170-182.
- [4] R.F. Harrington, "Effect of antenna size, on gain, bandwidth, and efficiency" // Journal of RNBS, vol.64 D, 1960, pp. 1-12.
- [5] K. Fujimoto, H. Morishita. Modern Small Antennas University Printing House, Cambridge, 2013.
- [6] Abraham Loutridis. Study of UHF and VHF Compact antennas. Dublin Institute of Technology. School of Electrical & Electronic Engineering. July 2015.
- [7] Shivshankar Tondare. "Meander Line Antenna with Artificial Magnetic Conductor" // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. Vol. 3, Issue 4, April 2014. pp. 8936-8943.
- [8] A. Erentok, R.W. Ziolkowski, "Metamaterial-inspired efficient electrically small antennas", // IEEE Transactions on AP, vol. 56, no3, March 2008, pp. 691-707.