

У ДК 621.396.677

Ю.П. Михайлюк, доцент, канд. техн. наук,

А.А. Савочкин, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

rt@sevgtu.sebastopol.ua

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗЭХОВЫХ КАМЕР В ДИАПАЗОНЕ 1...12,75 ГГц

Рассматриваются результаты разработки комплекта измерительных антенн диапазона 1...12,75 ГГц, предназначенного, в частности, для проверки характеристик безэховых камер в указанном диапазоне. Комплект состоит из двух широкополосных логопериодических антенн с различными коэффициентами перекрытия по частоте. Приводятся основные конструктивные параметры и электрические характеристики антенн комплекта.

Использование нового подвижного радиооборудования предполагает проведение всесторонних испытаний, к числу важнейших из которых относятся испытания по параметрам электромагнитной совместимости. При испытаниях с использованием измерительных площадок достаточно трудно удовлетворить всем требованиям, регламентируемых в [1], в особенности по погрешностям измерений на открытых площадках. Более предпочтительными являются испытания в безэховых камерах (БЭК) [2]. Однако к использованию БЭК предъявляются свои специфические требования, в частности, предполагается процедура проверки камеры по параметру нормированного ослабления площадки (НОП) [2], что в свою очередь требует соответствующего технического обеспечения измерений. В части источников (генераторов) и приемников сигналов такие измерения можно считать обеспеченными достаточно хорошо, тогда как антенные элементы представлены ограниченным спектром оборудования.

На основании рекомендаций, изложенных в [2], проверка БЭК должна производиться на тридцати фиксированных частотах в диапазоне от 1 ГГц до 12,75 ГГц для горизонтальной и вертикальной поляризаций поля излучения. Процедура определения НОП на каждой из частот предполагает размещение антенны передающей части испытательной установки в девяти строго определенных точках пространства БЭК, что повторяется на двух измерительных расстояниях (3 м и 10 м). При этом предусматриваются следующие меры, обеспечивающие корректность измерений: антенны (приемная и передающая) располагаются не ближе 1 м к любой из поглощающих плоскостей БЭК; радиочастотные соединительные кабели (между приемной и передающей антенной и приемным устройством или генератором сигналов, соответственно) прокладываются сзади и в сторону от антенн параллельно боковым и нижней плоскостям БЭК по направлению к задней плоскости; на кабели по всей длине надеваются ферритовые кольца с интервалом 0,15 м. Минимальную трудоемкость испытательной процедуры можно обеспечить при использовании одной широкополосной измерительной антенны, например, рупорной антенны П6-23М диапазона 0,85...17,44 ГГц [3].

Однако для процедуры проверки БЭК в [2] рекомендуется использование логопериодических антенн (ЛПА), при этом подразумевается аналогичность конструкций передающей и приемной антенн. Поскольку трудоемкость испытательной процедуры возрастает пропорционально числу используемых для перекрытия диапазона антенн, необходимо минимизировать число измерительных антенн, обеспечив при этом коэффициент усиления (КУ) не менее 8 дБ относительно изотропного излучателя, хорошее согласование (КСВ не более 2,0) и малые габаритные размеры.

Известно, что создание широкополосных антенн с коэффициентом перекрытия по частоте более 1:10, представляет сложную задачу, решение которой обеспечивается, как правило, путем разделения всего диапазона частот как минимум на два поддиапазона, низкочастотный и высокочастотный.

Исходя из требуемого значения коэффициента усиления был определен параметр логопериодических структур $\tau = 0,875$ и оптимальное значение относительного расстояния между вибраторами $\sigma_{\text{опт}} = 0,16$ [4]. В ходе дальнейшего расчета были получены длины вибраторов и расстояния между ними. В данном случае оказалось, что низкочастотная и высокочастотная логопериодические антенны (ЛПА-НЧ и ЛПА-ВЧ) должно состоять из 14 вибраторов.

Теоретический анализ характеристик антенн проводился с помощью метода моментов. Проводился расчет входных характеристик (КСВ) и коэффициента усиления (КУ).

Для расчета использовалась специализированная программа MMANA Ver.1.77, основой вычислительного ядра которой является широко известная система MININEC. Общеизвестно, что MININEC является адекватным инженерным средством разработки и анализа проволочных антенн.

При работе программа MMANA производит расчет распределения токов вдоль проводников структуры антенны. В качестве примера на рисунках 1, а, б, в изображены распределения токов для ЛПА-НЧ на частотах 1,0 ГГц, 2,3 ГГц и 3,6 ГГц, соответственно

Представленные результаты наглядно показывают формирование активной области на части логопериодической структуры, состоящей из 4...6 элементов. Особенно показательны распределения токов

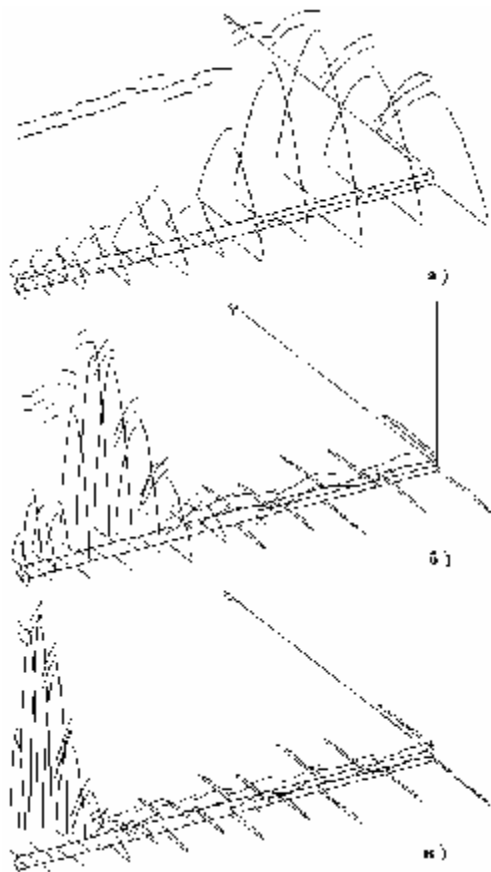


Рисунок 1 — Распределение амплитуды токов на излучающих элементах ЛПА-НЧ для частот 1 ГГц (а), 2,3 ГГц (б), 3,6 ГГц (в)

для граничных частот рабочего диапазона (см. рисунки 1, а, в) — на этих частотах наблюдается формирование полной активной области в пределах антенны.

Такой характер формирования активной зоны подтверждает правильность расчета геометрических параметров логопериодической структуры, при которых обеспечивается постоянство характеристик антенны в диапазоне частот.

Результаты расчета частотных зависимостей КУ и КСВ для ЛПА-НЧ в диапазоне 1,0...3,6 ГГц показаны на рисунке 2, а, для ЛПА-ВЧ в диапазоне 3,6...12,75 ГГц — на рисунке 2, б.

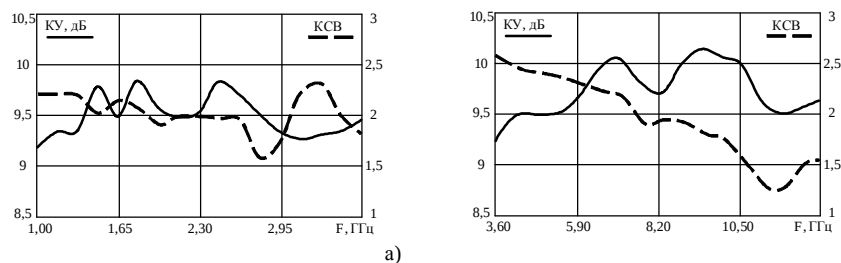
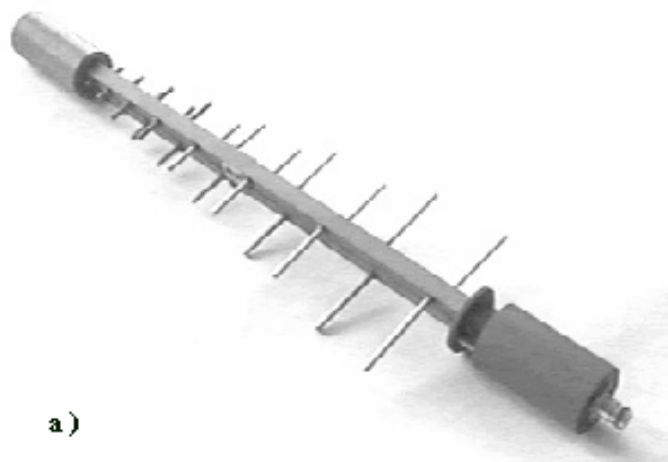


Рисунок 2 – Характеристики КУ и КСВ ЛПА-НЧ (а) и ЛПА-ВЧ (б)

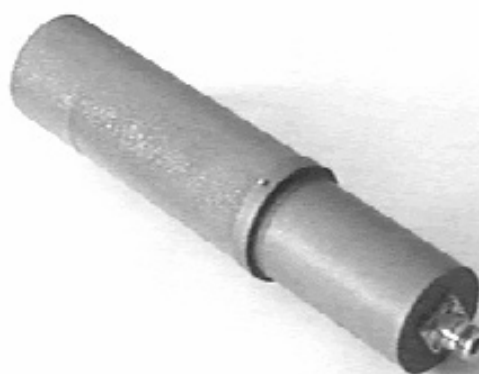
Представленные зависимости показывают, что расчетный уровень КСВ превышает рекомендованную величину 2,0, что свидетельствует о несоответствии входного сопротивления ЛПА волновому сопротивлению кабеля питания. Этот факт и обусловил необходимость использования в конструкциях обеих антенн согласующих устройств.

С учетом результатов расчетов были разработаны конструкции двух логопериодических структур обеспечивающих перекрытие всего диапазона 1,0..12,75 ГГц. Внешний вид антенн ЛПА-НЧ и ЛПА-ВЧ изображен на рисунках 3,а и 3,б, соответственно

Логопериодическая структура антенны ЛПА-НЧ содержит уточненное (по отношению к расчетному) по результатам экспериментов число вибраторов — 16.



а)



б)

Рисунок 3 — Внешний вид антенн ЛПА-НЧ (а) и ЛПА-ВЧ (б)

Для уменьшения веса антенны траверсы выполнены из пустотелого алюминиевого профиля прямоугольного сечения, а вибраторы — из трубок. Одна сторона высокочастотного кабеля, проходящего внутри траверсы, присоединена к передней части логопериодической структуры через согласующее устройство, а другая — к радиочастотному разъему, закрепленному на торцевой части втулки, предназначенной для установки антенны на штатив. Со стороны коротких вибраторов на траверсе антенны располагается радиопрозрачное укрытие из упороченного пенопласта, в котором размещено согласующее устройство.

Число элементов излучающей структуры антенны ЛПА-ВЧ также скорректировалось в ходе экспериментов, а именно: структура состоит из 13 элементов. Траверсы антенны выполнены из сплошного латунного профиля, а вибраторы — из латунных стержней. Запитана антенна ЛПА-ВЧ аналогично антенне ЛПА-НЧ, причем кабель питания зафиксирован в продольной выборке траверсы. Все вибраторы и согласующее устройство этой антенны находятся под радиопрозрачным укрытием из пенопласта.

Согласование входов обеих антенн в полосе частот обеспечивается при помощи согласующих устройств в виде трансформаторов на основе неоднородной полосковой линии с воздушным заполнением. Настройка антенн производится путем изменения расстояния между полосками трансформатора по его длине с последующей фиксацией диэлектрическим компаундом.

Максимальный размер антенны ЛПА-НЧ (с устройством крепления) составляет 635 мм, антенны ЛПА-ВЧ — 290 мм, при размерах излучающих структур (длина логопериодической структуры × максимальная длина плеча вибратора) 380×82 мм и 106×22 мм, соответственно. Антенны комплекта рассчитаны на работу с генераторами или приемными устройствами, имеющими импеданс 50 Ом. Разъем для подключения антенн — типа N.

Результаты экспериментальные исследования двухэлементного комплекта измерительных антенн показаны на рисунке 4.

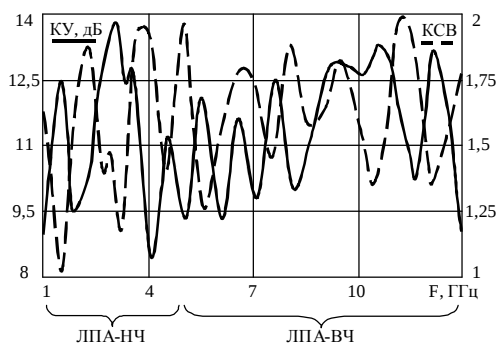


Рисунок 4 – Экспериментальные характеристики КУ и КСВ комплекта измерительных антенн

применение для других, требующих формирования или приема поля линейной поляризации, измерений в указанном диапазоне частот.

Библиографический список

1. ETR 273-1-1: "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties; Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile equipment characteristics; Sub-part 1: Introduction" // http://webapp.etsi.org/exchangefolder/tr_1022730101v010201p.pdf. Monday, 03 January 2005 12:06:03.
2. ETR 273-2: "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties; Part 2: Anechoic chamber" // http://webapp.etsi.org/exchangefolder/tr_10227302v010201p.pdf. Monday, 03 January 2005 12:09:04.
3. Антенна измерительная П6-23М // <http://www.mnapi.by/antenna14-p.html>. Monday, 03 January 2005 16:18:05.
4. Ротхаммель К. Антенны / К. Ротхаммель, А. Кришке. — Минск: Изд-во ОМО "Наш город", 2001. — Т.1. — 416 с.

Поступила в редакцию 05.01.2005 г.

В ходе экспериментального исследования установлено, что ЛПА-НЧ обеспечивает больший, по сравнению с расчетным, коэффициент перекрытия по частоте (диапазон, в котором КСВ не превышает 2, расширился до частоты 5,0 ГГц).

ЛПА-ВЧ обеспечивает требуемые характеристики только в диапазоне 5,0...12,75 ГГц, что обусловлено сложностью согласования данной антенны в области нижних частот.

Таким образом, поставленная задача обеспечения антенного оборудования для проверки характеристик БЭК решается путем использования комплекта только из двух логопериодических антенн с различными коэффициентами перекрытия по частоте, что позволяет выполнить рекомендации [2]. Разработанные антенны могут найти