

Е. М. ВАСИЛЬЕВА, нач. лаборатории ННЦ, «Институт метрологии», Харьков

С. А. ВИННИЧЕНКО, инженер 2 кат., ННЦ «Институт метрологии», Харьков

С. Г. БОНДАРЬ, вед. инженер, ННЦ «Институт метрологии», Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ АНТЕНН В ТЕМ-КАМЕРЕ

Рассмотрена возможность использования ТЕМ-камеры для калибровки различных типов антенн, включая измерительные. Приведены ограничения, обусловленные конструкцией ТЕМ-камеры, и аппаратурный состав комплекса измерений. Определены направления работ для расширения функциональных возможностей комплекса в части расширения аппаратурного состава и проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: ТЕМ-камера, электромагнитное поле, калибровка антенн, электромагнитная совместимость.

Введение. Измерительные антенны имеют нормированные с заданной погрешностью характеристики, что позволяет использовать их как метрологическое средство при измерениях различных параметров антенн, напряженности поля и помех, оценки качества сигналов совместно с приемниками или анализаторами спектра в составе мониторинговых систем.

Измерение параметров антенн с высокой точностью представляет собой сложную техническую задачу, требующую создания испытательной площадки, оснащенной дорогостоящим испытательным оборудованием. Учитывая наличие в ННЦ «Институт метрологии» ТЕМ-камеры для проведения испытаний на электромагнитную совместимость и актуальность задачи измерения параметров антенн, целесообразно рассмотреть условия, при которых возможно корректное измерение параметров антенн с ее помощью без существенных экономических затрат.

Целью статьи является анализ ограничений, обусловленных конструкцией ТЕМ-камеры, при измерении параметров антенн и определение направлений работ для расширения функциональных возможностей измерительного комплекса.

Основная часть.

Коэффициент калибровки антенн. Коэффициент калибровки антенны описывает соотношение между напряженностью электрического поля и на-

пряжения на выходе испытываемой антенны (50 Ом). Поскольку напряженность поля можно определить только косвенно, исходя из измеренного напряжения на выходе антенны, для преобразования напряжения в напряженность поля нужно применить подходящий коэффициент преобразования, т. е. коэффициент калибровки антенны или антенный фактор:

$$K = E/V, \quad (1)$$

где K – антенный фактор; E – напряженность электрического поля; V – напряжение на выходе антенны (50 Ом).

Взаимодействие между антенной и ее окружающей средой осложняет измерения. Для решения этой задачи антенный фактор в свободном пространстве определяется для идеальных условий, т.е. без влияния внешней окружающей среды, а измерения проводятся в особых условиях, где внешние влияния теоретически можно рассчитать. Такие условия существуют, например, над идеальной кондуктивной поверхностью в ТЕМ-камере. что позволяет скорректировать полученные результаты измерений с учетом систематических эффектов среды.

ТЕМ-камера. Конструктивно ТЕМ-камера представляет собой сужающуюся коаксиальную линию (смещенную мембранную пластину) с оконечными устройствами в виде комбинации дискретных резисторов и радиочастотных поглотителей для обеспечения согласования в широкой полосе частот (рис. 1). В камере генерируется поперечная электромагнитная волна, точна такая, которая наблюдается в свободном пространстве.



Рисунок 1 – ГТЕМ-камера фирмы TESEQ

При правильном расположении облучающей антенны вблизи вершины

рупорной камеры фазы прямого луча и лучей, отраженных от пирамидальной части поверхности камеры, различаются незначительно. При этом образуется медленно меняющаяся пространственная интерференционная картина, которая характеризуется плавным изменением амплитуды поля в рабочей зоне.

ТЕМ-камеры предназначены для испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС), калибровки антенн и зондов для измерения напряженности поля, испытаний и измерения характеристик мобильных телефонов, а также для измерения экранирующих и поглощающих способностей материалов, при этом стоимость таких испытаний значительно ниже, чем при использовании открытых площадок или безэховых камер прямоугольной формы.

В данных камерах есть возможность создания высокостабильных, однородных электромагнитных полей, которые идеально подходят для калибровки антенн и датчиков напряженности электрического и магнитного полей. Допустимое изменение поля в камере менее 1 dB на 30 см³. Неоднородность поля в камере на прямую влияет на увеличения неопределенности результатов измерения.

ТЕМ-камеры позволяют измерять электродинамические параметры антенных систем: зеркальных антенн всевозможных типов и видов, антенных решеток, одиночных антенн, облучателей, излучателей и т.д., как с линейной, так и с круговой поляризацией. Рупорные камеры могут быть эффективно использованы для проведения большинства антенных измерений. При этом габариты камеры накладывают определенное ограничение на направленность испытываемых антенных систем.

Благодаря созданию в рупорных камерах стабильных электромагнитных, механических, и климатических условий, измерения и испытания ТС могут быть легко автоматизированы. ТЕМ- камера, которая показана на рисунке 1. находится в НЦ-5 ННЦ «Институт метрологии». Семиметровая камера TESEQ GTEM 1500 позволяет проводить испытания ТС на ЭМС, в диапазоне частот от нуля до 20 ГГц. Данная камера входит в автоматизированную систему под управлением ПО R&S[®]EMC32, разработки фирмы Rohde & Schwarz. Основу системы составляет самое современное оборудование производства фирм Rohde & Schwarz, TESEQ (бывшая Schaffner), BONN Elektronik, RF/Microwave Instrumentation, MATURO.

Автоматизированная система под управлением ПО R&S[®]EMC32 позволяет проводить испытания в соответствии с требованиями следующих стандартов ЭМС (основных в данной области): ДСТУ CISPR 16-2:2005; ДСТУ CISPR 22:2007; IEC 61000-4-20:2007; ДСТУ IEC 61000-4-3:2007; ДСТУ IEC 61000-4-6:2007.. Перечень оборудования испытательного стенда приведен в табл. 1.

Наличие в составе стенда антенн с известными характеристиками позволяет проводить измерения путем сравнения характеристик испытываемой и штатной антенны.

Таблица 1 – Перечень оборудования испытательного стенда

№ п/п	Наименование	Тип	Метрологические характеристики
1	Генератор сигналов	R&S® SMC100A	От 9 кГц до 3,2 ГГц $\Delta_f = 5 \cdot 10^{-5}$
2	Тестовый приемник	R&S® ESCI	От 9 кГц до 3,2 ГГц $\Delta_a = 0,3\%$
3	Зонд электрического поля	FL7006	От 100 кГц до 6 ГГц $\delta_p = 5 \cdot 10^{-2}$
4	Датчики мощности	R&S® NRP-Z91	От 9 кГц до 3,2 ГГц $\delta_\beta = 1 \cdot 10^{-2}$
5	Билагориформическая антенна	TESEQ CBL 6112D	От 9 кГц до 3,2 ГГц $\delta_0 = 2,4 \cdot 10^{-2}$
6	Штыревая антенна	R&S® HFH2-Z1	От 9 кГц до 30 МГц
7	Испытательная камера	TESEQ GTEM 1500	От 0 до 20 ГГц
8	Усилитель мощности	BLWA0830-100/80D	От 80 МГц до 3 ГГц 100 Вт
	Генератор сигналов	R&S® SMF100A	От 1 ГГц до 43 ГГц
	Измерительный приемник	R&S® FFSMR43	От 1 ГГц до 43 ГГц
	Усилитель мощности	BSA 0101-100D	От 10 кГц до 1 ГГц
	Усилитель мощности	BONN BLMA 2060-50	От 2 ГГц до 6 ГГц

Возможности НЦ-5 в части проведения измерений в ТЕМ-камере ограничиваются диапазоном частот 10 кГц – 6000 МГц и охватывают большинство задач испытаний на ЭМС. Особо следует отметить существование в диапазоне частот 80-3000 МГц большого и перспективного сегмента медицинских аппаратов (например, УВЧ - терапии), которые требуют проверки при напряженности электромагнитного поля до 120 В/м и уровнях входного сигнала до 50 Вт. Такого рода измерения являются уникальными и частично реализуются в Укрметрестандарте г. Киев.

Для обеспечения проведения испытаний в диапазоне частот до 18 ГГц при напряженности электромагнитного поля до 20 В/м аппаратуру стенда необходимо дополнить усилителем мощности BLMA 4018-30D. В настоящее время такого рода испытания с напряженностями поля до 2 В/м возможны на рабочем месте с использованием имеющихся генераторов и технологических рупорных антенн.

Поверка и калибровка антенн. В НЦ-5 на базе приведенной выше аппаратуры создано рабочее место для проведения поверки и калибровки различного типа антенн и измерителей уровней электромагнитного поля. Анализ характеристик аппаратуры и методов измерений дает значение абсолютной погрешности измерения калибровочного коэффициента антенн не более ± 1 дБ, значение неопределенности при калибровке не превышает 1,6 дБ.

На данном рабочем месте регулярно проходят поверка и калибровка антенн типа HE300, HF906, рупорных антенн комплексов радиомониторинга ССТК и др.

Направления исследовательских работ. Для уточнения значений погрешности измерений параметров антенн в ТЕМ-камере необходимо дополнительно провести ряд теоретических и экспериментальных исследований, а именно:

- провести анализ характеристик распределения электромагнитного поля в ТЕМ-камере
- определить максимальные габаритные размеры исследовательских объектов, не влияющих на распределение электромагнитного поля в камере
- осуществить экспериментальное подтверждение результатов анализа.

Задачи изучения излучения и рассеяния электромагнитных волн состоят в необходимости определения поля в области больших электрических размеров (под электрическим размером понимается отношение геометрического размера к длине волны в свободном пространстве). Особое значение при этом приобретает правильный выбор программы моделирования, т.к. дискретизация больших областей порождает задачи огромной размерности. В этом случае строгие методы электродинамики необходимо дополнить, так называемыми, асимптотическими методами: физической оптики (ФО), геометрической теории дифракции (ГТД) и т.д.

Выводы. Рассмотрена возможность использования ТЕМ-камеры для калибровки различных типов антенн, включая измерительные. Приведены ограничения, обусловленные конструкцией ТЕМ-камеры, и аппаратный состав комплекса измерений. Определены направления работ для расширения функциональных возможностей комплекса в части расширения аппаратного состава и проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Список литературы. 1. Juergen Gassner, Rohde&Schwarz Високоточная калибровка измерительных антенн – теперь как услуга // Chip news Украина. – № 08 (98), октябрь 2010. **2.** ГОСТ 8.309-78 ГСИ. Антенны остронаправленные. Методика выполнения измерений для определения параметров по полю в раскрыве. **3.** ГОСТ 8.363-79. ГСИ. Антенны измерительные рамочные. Методы и средства поверки. **4.** ДСТУ ГОСТ 8.191:2009. ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений параметров поля излучения антенных систем с рабочими размерами раскрывов от 0,1 до 0,4 м в диапазоне частот 2,5...12 ГГц. **5.** Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO. – М.: ЗАО НПП «РОДНИК», 2008. – 246 с.

Bibliography (transliterated): 1. Juergen Gassner, Rohde&Schwarz. Vysokotochnaja kalibrovka izmeritel'nyh antenn – teper' kak usluga. Chip news Ukraina, #08(98), oktjabr' 2010. **Print. 2.** GOST 8.309-78 GSI. Antenny ostronapravlennye. Metodika vypolnenija izmerenij dlja opredelenija parametrov po polju v raskryve. **Print. 3.** GOST 8.363-79. GSI. Antenny izmeritel'nye ramochnye. Metody i sredstva poverki. **Print. 4.** DSTU GOST 8.191:2009. GSI. Gosudarstvennyj special'nyj jetalon i obshhesojuznaja poverochnaja shema dlja sredstv zmerenij parametrov polja izlucheniya antennnyh sistem s rabochimi razmerami raskryvov ot 0,1 do 0,4 m v diapazone chastot 2,5...12 GGc. **Print. 5.** Bankov S.E., Kurushin A.A. Raschet izluchaemyh struktur s pomoshh'ju FEKO – M., ZAO «NPP «RODNIK», 2008, 246 s. **Print.**

Поступила (received) 14.10.2014

УДК 519.2

Визначення метрологічних характеристик малогабаритних вимірювальної антени В ТЕМ-камері / Е.М. Васильєва, С.А. Винниченко, С.Г. Бондар // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 56-60. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0740.

Розглянуто можливість використання ТЕМ-камери для калібрування різних типів антен, включаючи вимірювальні. Наведено обмеження, зумовлені конструкцією ТЕМ-камери, і апаратний склад комплексу вимірювань. Визначені напрями робіт для розширення функціональних можливостей комплексу в частині розширення апаратного складу і проведення додаткових теоретичних і експериментальних досліджень.

Ключові слова: ТЕМ-камера, електромагнітне поле, калібрування антен, електромагнітна сумісність.

УДК 519.2

Определение метрологических характеристик малогабаритных измерительных антен в ТЕМ-камере / Е.М. Васильева, С.А. Винниченко, С.Г. Бондар // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 56-60. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0740.

Рассмотрена возможность использования ТЕМ-камеры для калибровки различных типов антенн, включая измерительные. Приведены ограничения, обусловленные конструкцией ТЕМ-камеры, и аппаратный состав комплекса измерений. Определены направления работ для расширения функциональных возможностей комплекса в части расширения аппаратного состава и проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: ТЕМ-камера, электромагнитное поле, калибровка антенн, электромагнитная совместимость.

Definition of the Metrological Characteristics of Small Antennas Measuring TEM camera / E.M. Vasileva, S.A. Vinnichenko, S.G. Bondar // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 50 (1092). – С. 56-60. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0740.

The possibility of using a TEM camera for calibration of the different types of antennas, including measuring, is considered. The limitations due to the design of TEM camera is given, and discussed hardware complex of measurements. The directions of works for expansion the functional possibilities of the complex are proposed.

Keywords: TEM-camera, the electromagnetic field, the calibration of antennas, electromagnetic compatibility.