

Проблемы использования реверберационной камеры при испытаниях на восприимчивость к радиочастотному электромагнитному полю

Алексей Шостак (инженер-испытатель ИЛ ЭМС, АО «ТЕСТПРИБОР»)

Радиочастотная реверберационная камера является более доступной альтернативой безэховым камерам при проведении тестирования электронного оборудования на восприимчивость к ЭМП. Однако данный метод испытаний имеет свои особенности. В данной статье рассказано об опыте решения проблем при внедрении реверберационной камеры в испытательной лаборатории АО «ТЕСТПРИБОР».

Ввиду того что основная тематика испытаний в лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР» – это испытания изделий авиационной промышленности гражданского и специального назначения, основными документами, регламентирующими проведение таких испытаний, являются стандарты КТ-160G/14G и ГОСТ РВ, а также программы и методики предприятий-заказчиков. Одним из основных видов испытаний является проверка восприимчивости изделия к радиочастотному электрическому полю высокой напряжённости (англ. High-intensity Radiated Field – HIRF) вплоть до 7,2 кВ/м (КТ-160G группа L).

Для закрытия максимально возможных категорий жёсткости указанных выше стандартов, в лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР» было решено создать рабочее место на основе радиочастотной реверберационной камеры (РК) (см. рис. 1), реализовав альтернативный метод проведения испытаний



Рис. 1. Реверберационная камера лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР»

- Общие габаритные размеры (Ш×В×Г) 2700×1550×1650 мм
- Размеры рабочей зоны (Ш×В×Г) 700×700×700 мм
- Диапазон рабочих частот 400 МГц ... 18 ГГц

на восприимчивость к электрическому полю. Данный метод испытаний в нашей стране пока не получил широкого распространения, в том числе и потому, что при разработке, аттестации и эксплуатации такого вида оборудования персоналу лаборатории приходится сталкиваться с рядом вопросов, часть которых хотелось бы обсудить в данной статье.

Кратко напомним, что реверберационная камера – это экранированное помещение, изготовленное обычно из алюминия или оцинкованной стали, внутри которого расположена передающая антенна, измерительный датчик, а также рассеивающий электромагнитные волны элемент – тюнер. Работа РК основана на принципе многократных отражений падающей электромагнитной волны, генерирующей высокую напряжённость поля за счёт усиливающей интерференции (эффекта резонанса), в результате чего образуются «стоячие» волны, которые «перемешиваются» тюнером с целью получения однородного электрического поля в рабочем объёме РК.

Преимущество РК заключается в возможности проведения испытаний на восприимчивость к электрическому полю в широком диапазоне частот при относительно невысоких требованиях к подводимой на передающую антенну мощности сигнала. При этом ориентация испытуемого изделия внутри рабочего объёма РК менее важна, так как все его плоскости и подводимые кабели подвергаются воздействию однородного электрического поля, погрешность изменения которого, при правильно сконфигурированной геометрии, обычно лежит в

пределах ± 3 дБ (данное значение подтверждается аттестацией аккредитованной организации).

Аттестация

Аттестация такого вида оборудования, как реверберационная камера, накладывает, в отличие от антенны или генератора сигналов, дополнительные требования, а именно наличие программного обеспечения (ПО), которое бы позволяло одновременно контролировать положение тюнера, уровень излучаемой мощности и измеренное значение напряжённости.

Хотя большинство камер зарубежного производства уже поставляются с ПО для автоматизации испытаний, в случае собственной разработки необходимо привлекать соответствующих специалистов для внедрения программы, позволяющей одновременно обмениваться данными между генератором сигналов, датчиками прямой и обратной мощности, датчиком напряжённости электрического поля и приводом тюнера РК.

Сам процесс аттестации связан с существенными затратами времени, так как инженеру необходимо в девяти точках испытательного объёма на фиксированных частотах и в требуемых положениях тюнера проводить измерение однородности создаваемого электрического поля. Для примера, в таблице 1 отражено требование стандарта ГОСТ РВ 6601-001-2008 к необходимому числу позиций тюнера.

Учитывая потенциальную трудоёмкость испытания, а также принимая во

Таблица 1. Необходимое число позиций тюнера по ГОСТ РВ 6601-001-2008

Частотный диапазон (МГц)	Необходимое число позиций тюнера
200...300	50
300...400	20
400...600	16
Свыше 600	12



ТЕСТПРИБОР

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ЭМС

Преимущества:

- ✓ ИЛ ЭМС аккредитована в системах «Военный регистр» и «АР МАК»
- ✓ Наличие всего необходимого оборудования и средств измерений
- ✓ Высококвалифицированный персонал
- ✓ Возможность проведения выездных испытаний на территории Заказчика
- ✓ Возможность проведения исследовательских испытаний

ВИДЫ РАБОТ (ИСПЫТАНИЙ)

- Устойчивость к изменениям в системе электропитания
- Восприимчивость к кондуктивным помехам
- Измерение уровня электромагнитных помех
- Устойчивость к воздействию электростатических разрядов, переменных электрических и магнитных полей
- Измерение коэффициента экранирования различных материалов
- Разработка программ и методик проведения испытаний
- Испытания по ТЗ заказчика

Реклама



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А

внимание то, что при внесении испытуемого изделия картина полей будет изменяться, существенно ускорить процедуры калибровки и испытаний можно, только используя максимальное количество датчиков напряжённости электрического поля в рабочем объёме.

Датчики напряжённости электрического поля

При рассмотрении рынка измерительного оборудования обнаруживается малое количество подходящих датчиков напряжённости электрического поля из реестра СИ. На момент написания данной статьи для покрытия всего частотного диапазона испытаний по КТ-160G/14G и ГОСТ РВ 6601-001-2008 возможно использовать только три датчика от двух производителей, причём максимально регистрируемый ими уровень достигает 1 кВ/м – для частот до 4 ГГц и 600 В/м для частот до 18 ГГц. И хотя этого достаточно для испытаний по ГОСТ РВ 6601-001-2008 и перекрытия большинства категорий КТ-160G, этого явно недостаточно для проведения испытаний импульсными электрическими полями по максимальным категориям жёсткости КТ-160G. На зарубежном рынке присутствуют датчики, которые имеют возможность измерения импульсных электрических полей напряжённостью до 600 кВ/м, но, к сожалению, пока отечественные испытательные лаборатории не могут их использовать при проведении сертификационных испытаний. Помимо этого, для удобства и ускорения калибровки рабочего объёма РК желательно использовать систему из нескольких датчиков (в идеальном случае – девять), однако это требует существенного финансирования а также большего рабочего объёма.

Нижняя граница частоты

РК на низких частотах характеризуется конечным числом возбуждаемых типов волн (мод), суперпозиция которых в итоге приводит к неоднородному распределению электрического поля в нижней области диапазона рабочих частот. Также следует отметить, что эффективность РК снижается с убыванием частоты, т.е. мощность сигнала, необходимая для создания определённой напряжённости поля, будет тем больше, чем меньше нижняя рабочая частота.



Рис. 2. Малогабаритная биконическая антенна

Оценить нижнюю частотную границу рабочего диапазона, при которой будет обеспечиваться необходимое число мод, а также габариты РК, можно, используя следующее выражение:

$$N = \frac{8\pi}{3} abd \frac{f^3}{c^3},$$

где a, b, d – внутренние размеры камеры (м);

f – рабочая частота (Гц);

c – скорость распространения радиоволн, равная 3×10^8 м/с.

Помимо геометрии и габаритов РК, на характеристики создаваемого поля будут влиять тип используемых тюнеров, их геометрия, положение и их количество. При разностороннем подходе к процессу разработки и анализа конструкции РК, влияние тюнера на распределение электрического поля в рабочем объёме можно оценить, используя средства электродинамического моделирования, например CST Microwave Studio или Ansys HFSS.

Тюнер

Как уже было сказано, многократные отражения излучаемых антенной электромагнитных волн от стен корпуса РК образуют стоячие волны с неравномерными по амплитуде областями. Для обеспечения однородного распределения электрического поля внутри РК прибегают к изменению положения тюнера, что приводит к изменению граничных условий РК. Электрическое поле в рабочем объёме РК считается однородным, если в пределах заданной погрешности усреднённые по всем положениям тюнера (в зависимости



Рис. 3. Октавные рупорные антенны

от частоты испытательного сигнала число позиций тюнера за один полный оборот может колебаться от 12 до 200 и более) значения амплитуд напряжённости одинаковы во всем рабочем объёме.

Тюнер должен быть асимметричным (в РК АО «ТЕСТПРИБОР» используется тюнер типа Z-Fold с наименьшим размером $\lambda/3$ для самой низкой частоты, которая будет использоваться, а самый большой размер тюнера должен быть приблизительно 75% от наименьшего размера РК. Увеличение размеров тюнера приводит к уменьшению отклонения напряжённости ЭМП во внутреннем объёме РК, однако при этом уменьшается рабочий объём. Также при ориентации друг напротив друга два тюнера типа Z-Fold позволяют добиться более высокой однородности электрического поля в рабочем объёме камеры.

Антенны

Излучающие антенны должны располагаться не ближе $0,75 \lambda$ ($\lambda/3$ – фактическое ограничение) от любой стены или объекта и позиционированы так, чтобы предотвратить встречное направление между основными лепестками диаграмм направленности (ДН) этих антенн или между испытуемым изделием и основным лепестком ДН любой антенны. Это требование накладывает ограничения на габариты используемых антенн в случае использования РК с диапазонами рабочих частот от 400 МГц и выше. Большинство трудностей возникает с габаритными биконическими ОВЧ- и логопериодическими антеннами УВЧ диапазонов. Однако рынок испытательного оборудования позво-

Таблица 2. Сравнение безэховой и реверберационной камер

Реверберационная камера	Полубезэховая экранированная камера
	
Зависимость рабочих частот от геометрии —	Зависимость рабочих частот от параметров радиопоглощающих материалов —
Одновременный контроль трёх параметров: - частоты - амплитуды - угла поворота тюнера	Одновременный контроль двух параметров: - частоты - амплитуды +
Необходимость каждый раз перед испытаниями калибровать камеру в девяти точках во всем диапазоне частот при внесении в её рабочий объём испытуемого изделия —	Калибровка в одной точке +
Ввиду необходимости постоянной калибровки время и трудозатраты персонала = в 10 раз выше —	Персонал только заменяет/переключает антенны и усилители. Проведение испытаний «вручную» даёт сравнительно небольшой прирост к временным и трудовым затратам персонала +
Необходимость дополнительного ПО и драйверов для управления тюнером	Стандартный пакет ПО для управления усилителями и генератором
Требуются усилители с меньшей мощностью +	Необходимы мощные усилители, стоимость которых в несколько раз выше —
Возможность создания полей более высокой напряжённости при одинаковой подводимой мощности +	С ростом требуемой напряжённости необходимы гораздо более мощные усилители —
Требуется дополнительная функция защиты усилителей от отражённой мощности, которая снижает подводимую мощность в случае рассогласования СВЧ-тракта	Стандартный контроль отраженной мощности датчиками мощности
Требование к однородности поля в испытательном объёме	Требование к однородности поля только по гражданским стандартам
Воздействие на все плоскости изделия и провода +	Необходимо вращение или поворот изделия —
Ограничение рабочего объёма, количества подводимых к изделию кабелей питания и управления —	Нет строгих ограничений по объёму испытуемого изделия +
Неудобство при размещении испытательного и испытуемого оборудования —	Испытатель и Заказчик имеют доступ ко всем сторонам испытуемого изделия +
Невозможность выездных испытаний	Стойку с усилителями, антенны можно разобрать и вывезти
Некоторые стандарты не предусматривают использование РК	Соответствует стандартам испытаний для большинства видов продукции

+ Плюсы — Минусы

ляет решить данную задачу. Например, можно использовать малогабаритную биконическую антенну с диапазоном частот 30 МГц...1 ГГц (см. рис. 2). Хотя коэффициент усиления такой антенны хуже, чем у логопериодической, свойства РК нивелируют требования к необходимой подводимой мощности. В диапазоне от 1 ГГц и выше габариты рупорных антенн позволяют без особого труда размещать их в РК любых размеров. Использование октавных рупоров (см. рис. 3) позволит также сэкономить на мощности усилителей ввиду более высоких значений коэффициента усиления.

Заключение

Таким образом, реверберационные камеры следует рассматривать как альтернативу безэховым камерам при испытаниях на восприимчивость к радиочастотному электрическому полю только при условии принятия и решения компромиссов и допущений, которые были рассмотрены в данной статье, а также часть которых отражена в таблице 2. Более уместным будет сказать, что оба вида испытательного оборудования дополняют друг друга при выполнении испытаний на ЭМС.

В настоящий момент реверберационная камера АО «ТЕСТПРИБОР» находится в стадии дооснащения и подготовки к аттестации, по завершении которой планируется расширить возможности лаборатории в части испытаний на восприимчивость к радиочастотному электрическому полю.

Литература

1. Демаков А. В., Комнатнов М. Е., Газизов. Обзор исследований в области разработки и применения реверберационных камер для испытаний на электромагнитную совместимость. Т. Р. УДК 621.317.2.
2. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС / Кечиев Л.Н., Балюк Н.В. / Под ред. Л.Н. Кечиева – М.: Грифон, 2014. (Библиотека ЭМС).
3. ГОСТ РВ 6601-001-2008. Оборудование бортового авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерения. – М.: Стандартинформ, 2008.
4. КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (Внешние воздействующие факторы). – М.: НИИАО, 2015.

