

Как обеспечить точность измерений напряженности поля

Текст: Дмитрий Кондрашов
Патрик Дейкстра



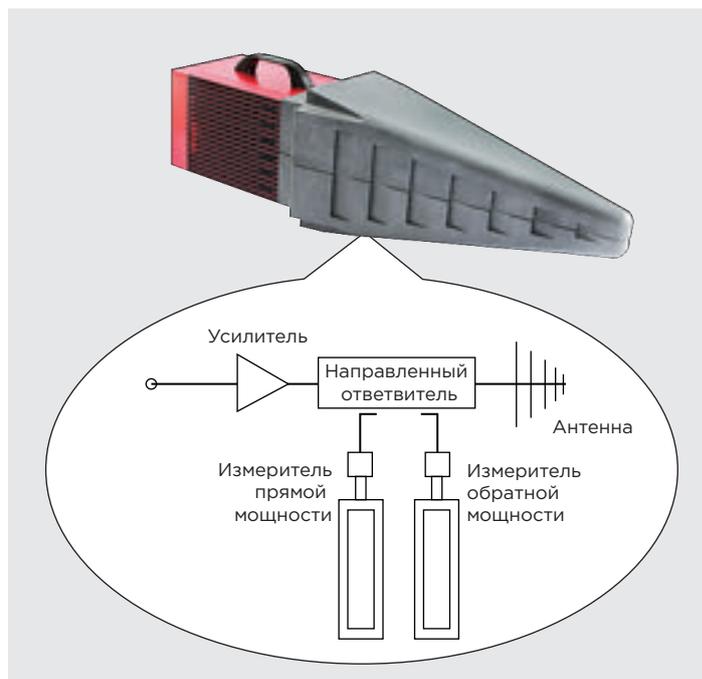
В статье мы рассмотрим решение проблемы метрологического обеспечения измерений напряженности электромагнитного поля по гражданским и авиационным стандартам с помощью специализированного комплекса на базе активной антенной решетки и прецизионной изотропной антенны. Задача комплекса – снижение общей погрешности измерений, соответствие широкому спектру стандартов на помехоустойчивость, а также снижение стоимости проведения испытаний и владения аппаратурой.

В предыдущей статье «Зачем менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС»¹ был подробно рассмотрен уникальный метод проведения испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю по стандарту ГОСТ 30804.4.3-2013 (IEC 61000-4-3-2016) с помощью нового класса приборов – **генераторов поля от компании DARE!! Instruments (Нидерланды)**. Основная идея метода заключается в замещении классической системы (рис 1) на интегрированный в единый корпус измерительный прибор. Были рассмотрены основные ограничения и недостатки при выборе усилителя и антенны для коммерческих и иных стандартов при использовании стандартного метода испытаний:

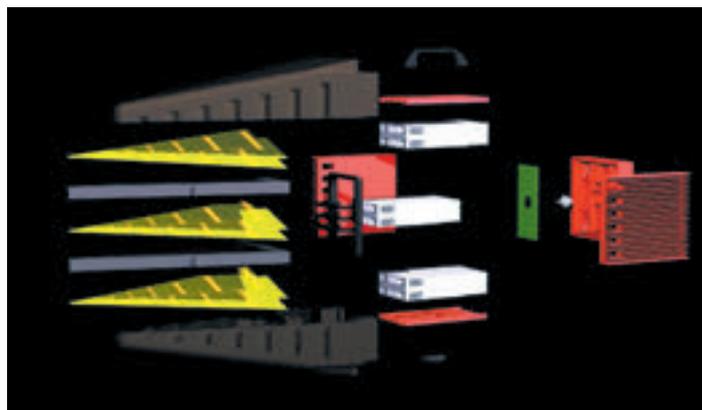
- высокая стоимость при одновременном соответствии требованиям по гражданским и военным стандартам;
- низкий коэффициент усиления антенны;
- недостаточно широкая диаграмма направленности антенны;
- потери на выходе усилителя;
- потери внутри усилителя;
- потери на внешних кабелях от усилителя до ответвителя;
- потери на кабелях от ответвителя до антенны;
- общие потери 3-6 дБ, т.е. более половины номинальной мощности стандартного усилителя;
- низкая скорость измерения;
- отсутствие контроля мощности после направленного ответвителя.

Принцип работы генератора поля

Принцип комбинирования поля в активной антенной решетке (ААР) позволяет усилить подаваемый на ее вход радиочастотный сигнал и обеспечить формирование нормированного однородного электромагнитного поля на расстоянии 1 и 3 метра от его излучающих элементов с заданной напряженностью поля. Сигнал, поступающий с генератора СВЧ-сигналов на вход генератора поля, делится на три равные части, каждая из которых поступает на вход отдельного усилителя мощности для измерения и контроля прямой и обратной мощности. С выхода каждого усилителя сигнал через направленные ответвители поступает на вход антенного элемента. Антенные элементы представляют собой логопериодические антенны, выполненные на печатных платах и расположенные параллельно друг к другу (рис 2). Запитка антенных элементов выполняется таким образом, чтобы обеспечить синфазное сложение излучаемых ими электромагнитных полей в направлении строительной оси генератора поля. Калибровка однородности поля осуществляется с помощью прецизионных безбатарейных лазерных



1
Схема генератора поля RFS2006B



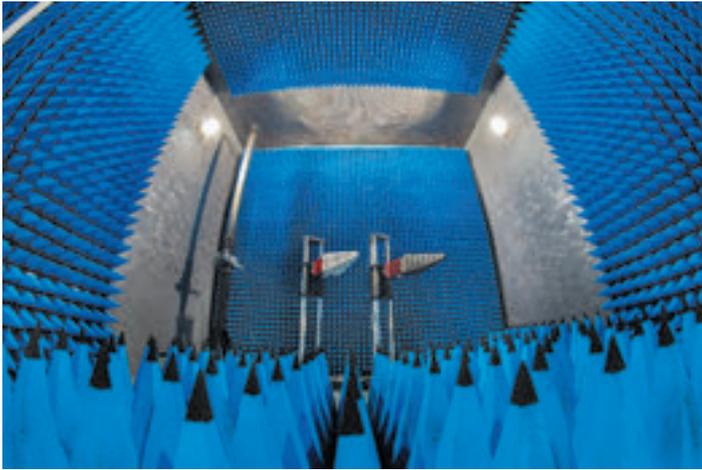
2
Конструкция генератора поля

датчиков напряженности поля, подключенных к общему шасси, на котором установлен блок управления генератором поля.

При этом генератор поля может автоматически изменять поляризацию, используя специализированную радиопрозрачную антенную мачту. Управление поляризацией и подача сигнала происходят по единственному коаксиальному кабелю. Максимальный уровень напряженности поля по стандарту ГОСТ 30804.4.3-2013, доступный на начало 2017 года: 54 В/м в диапазоне частот 800 МГц – 6 ГГц на расстоянии один метр.

Применение ААР для испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю уже успешно зарекомендовало себя и используется в современных лабораториях по всему миру – от США до Юж-

¹ Журнал «Вектор высоких технологий» № 6 (27) сентябрь 2016



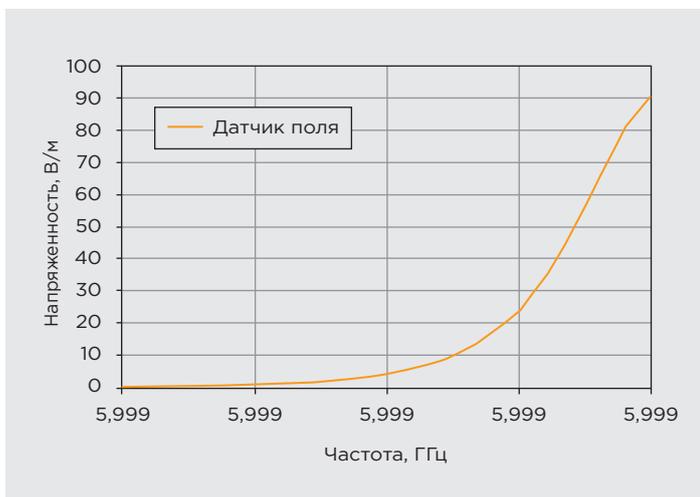
3

Генераторы поля RFS2006BR и RFS2018BR

ной Кореи. Простота проведения испытаний и сокращение используемых данных позволили применить этот принцип при построении более мощных и высокочастотных систем. Очевидно, что 54 В/м и верхнего предела частоты 6 ГГц недостаточно для обеспечения испытаний по авиационным, автомобильным и иным стандартам. Поэтому компанией DARE!! Instruments было принято решение разработать специализированные комплекты генераторов поля, которые соответствовали бы гораздо большему числу ЭМС-стандартов.

Новый комплект генераторов поля 18 ГГц, 90 В/м

В конце 2017 года DARE!! Instruments выпустила новый комплект для испытаний на восприимчивость к радиочастотному электромагнитному полю в диапазоне частот от 800 МГц до 18 ГГц, который построен на базе двух новых генераторов поля RFS2006BR (800 МГц – 6 ГГц) и RFS2018BR (6 МГц – 18 ГГц) (рис 3).



4

График линейности генератора поля RFS2006BR

Характеристики линейности и АЧХ новых генераторов представлены на графике (рис 4 и 5).

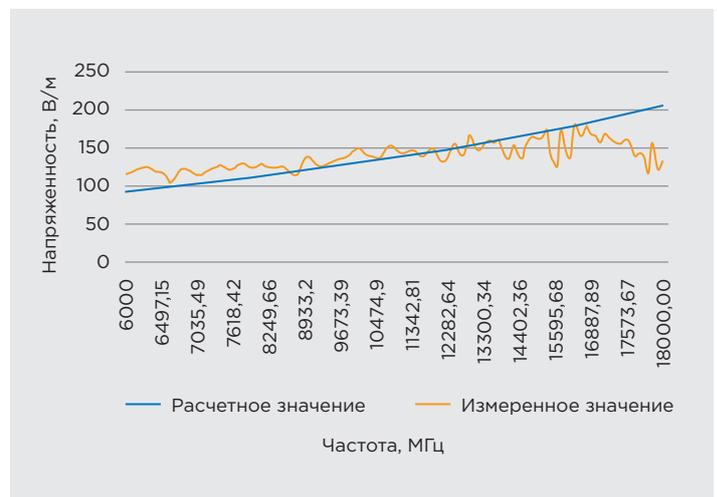
Таким образом, используя метод комбинирования поля в ААР возможно одновременно соответствовать требованиям для сертификационных и предварительных испытаний по принятым стандартам. При этом стоимость данных систем будет на 50 % дешевле, что существенно сэкономит бюджет лаборатории при приобретении оборудования, а также при обслуживании и сервисе.

Но несмотря на применяемый подход важнейшей проблемой остается метрологическое обеспечение измерений напряженности поля при калибровке испытательного стенда, а также точные измерения характеристик однородности поля используемой безэховой камеры. На этапе разработки генераторов поля RFS2006BR RFS2018BR специалисты DARE!! Instruments столкнулись с некоторыми особенностями, которые присущи всем датчикам напряженности поля, производимым на сегодняшний день.

Универсальность или точность

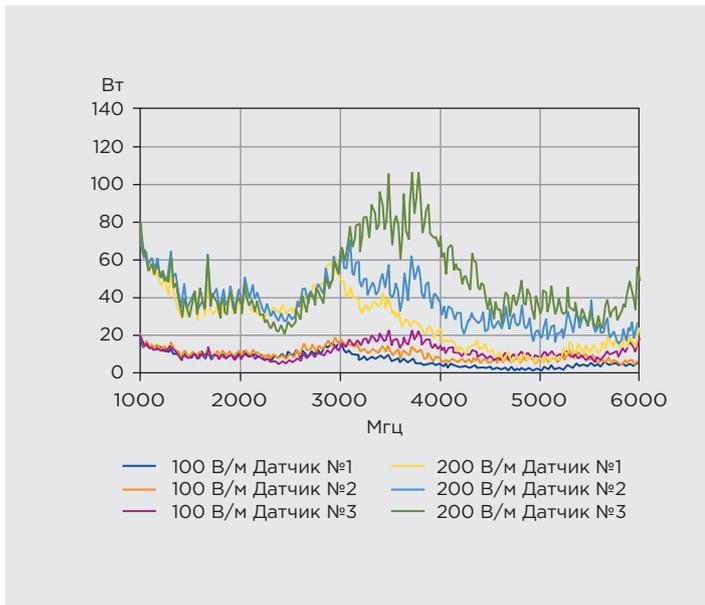
Стабильная работа измерительного оборудования компании DARE!! Instruments со сторонними производителями особенно важна, т.к. компания использует собственное программное обеспечение RadiMation®, а также в тех случаях, когда в лаборатории используется только софт без базового шасси DARE!! Instruments. Данное программное обеспечение позволяет автоматизировать испытания по большинству существующих стандартов (EN, ISO, DO-160, MIL-STD-461 и т. д.), а также имеет более 4500 бесплатных драйверов от 110 производителей ЭМС-аппаратуры и оборудования в своем составе.

Во время испытаний новых генераторов поля RFS2006BR и RFS2018BR инженерам DARE!! Instruments была поставлена задача использовать для кали-



5

График линейности генератора поля RFS2018BR

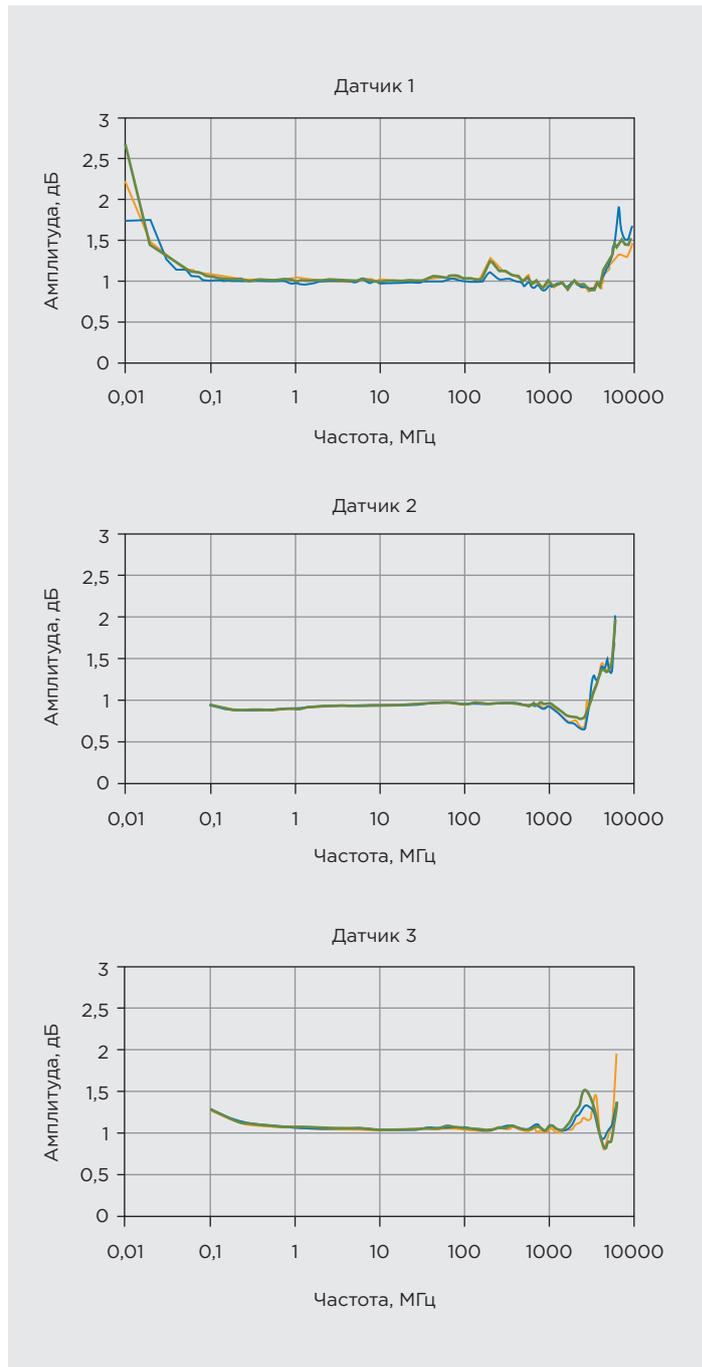


6

Зависимость частоты относительно прямой мощности при горизонтальной поляризации

бровки ААР датчики напряженности сторонних производителей и интегрировать их в программное обеспечения RadiMation® для совместной работы. При проведении тестирования напряженности поля специалисты DARE!! Instruments получили массив измеренных значений с каждого датчика поля, которые значительно различались между собой. Поэтому приходилось постоянно вручную настраивать выходную мощность генератора сигналов и учитывать дополнительные погрешности по каждой оси. В среднем значения прямой мощности, подаваемой с усилителя для каждого датчика поля, отличались в 2-3 раза, однако при этом датчик поля отображал одинаковое значение напряженности поля. Генератор поля решили заменить на стандартную антенну с усилителем и выполнили ряд измерений при одинаковых усилителе, антенне и измерителях мощности с направленным ответвителем. Чтобы более наглядно показать различия в показаниях прямой мощности, на рис 6 приведена зависимость частоты от прямой мощности с антенны. На графике изображена пара кривых для трех датчиков поля. Первая кривая – для каждого датчика при напряженности поля 100 В/м, а вторая – для напряженности 200 В/м. При этом серьезные отклонения в значениях прямой мощности начинаются в диапазоне частот от 3 ГГц, несмотря на то, что пробники отображают одинаковое значение напряженности поля 200 В/м.

Еще одна особенность, которую отметили при испытаниях специалисты DARE!! Instruments для всех датчиков поля, – значение ошибки по АЧХ для каждой измерительной оси X, Y и Z. На рис 7 приведены графики с кривыми по каждой координате



7

Графики АЧХ для датчика 1, 2 и 3

для тех же трех тестируемых датчиков. Значительные отклонения наблюдались от 3 ГГц, а также для датчика с батарейным питанием дополнительно ниже 100 кГц.

На сегодняшний день применяются три основных подхода при проведении калибровки датчиков поля, которые основаны на стандарте, определяющем диапазон частот от 9 кГц до 40 ГГц, а также частный случай, использующий метод интерполяции. Его характерной особенностью является использование зоны поворотной платформы полубезэховой камеры с использованием дополнительного радиопоглоща-



8

Внешний вид датчика поля RSS2010AR

ющего материала. Напряженность поля вычисляется по формуле:

$$E = \sqrt{(K_x \times E_x)^2 + (K_y \times E_y)^2 + (K_z \times E_z)^2}$$

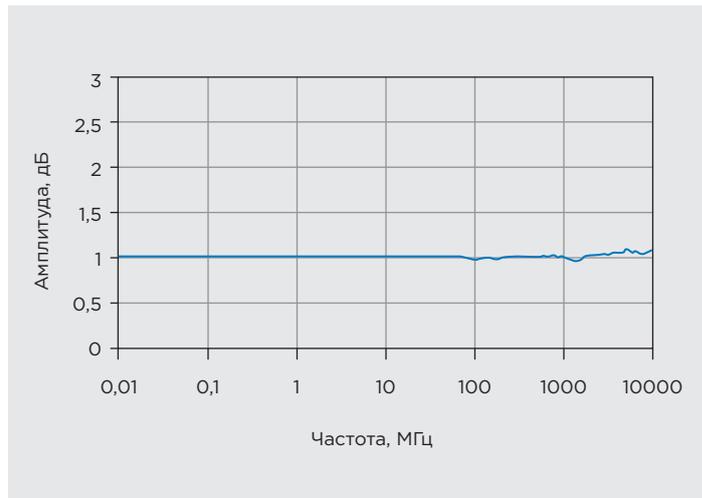
где K_n – коэффициент калибровки по каждой оси X, Y и Z, E_n – измеренная напряженности по каждой оси X, Y и Z соответственно.

Таким образом, изотропность датчика существенно сказывается на результатах измерений. Необходимо также учитывать размер датчика, который вносит дополнительное искажение в создаваемое поле, в особенности в НЧ- и ВЧ-диапазоне от 9 кГц до 1000 МГц, изменяя импеданс, а также в более высокочастотной области определяет погрешность АЧХ.

Все эти особенности накладывают значительную дополнительную погрешность при проведении измерений и при калибровке ААР внесут дополнительное нежелательное увеличение погрешности измерения ААР, так как генератор поля измеряет прямую и обратную мощность и подстраивает значение на генераторе сигналов для коррекции уровня, используя показания датчика поля.

Из графиков на рис 7 видно, что отклонения в значениях прямой мощности, а также относительно ортогональных осей датчиков поля наблюдаются в одном и том же диапазоне частот от 3 ГГц. Проанализировав полученные данные, инженеры DARE!! Instruments пришли к выводу, что эти особенности возникают из-за размера и формы датчика поля, а также нескольких не менее важных факторов, таких как:

- высокое значение изотропности и низкий уровень симметрии относительно антенных элементов каждой оси X, Y и Z;
- нормирование изотропности всех датчиков поля на частотах 10 или 100 или 1000 МГц, но не выше;
- отсутствие возможности коррекции датчика поля.



9

График АЧХ датчика поля RSS2010AR

Универсальный датчик поля RSS2010AR

Принимая во внимание основные недостатки и особенности современных датчиков поля, специалисты DARE!! Instruments разработали универсальный датчик поля, который подходит для калибровки поля и ЭМС-систем в безэховых, реверберационных и ГТЕМ-камерах.

Разработка датчика завершилась в конце 2017 года, и он получил наименование RSS2010AR (рис 8). На сегодняшний день RSS2010AR является самым точным прибором для измерения однородности поля и калибровки испытательных систем на устойчивость к РЧ-полю в диапазоне частот 9 кГц–12 ГГц. На рис 9 приведен график АЧХ датчика поля RSS2010AR с минимальной погрешностью не более 0,3 дБ и измерением напряженности поля до 1000 В/м!

Независимо от погрешности АЧХ, которой обладает любой датчик поля, необходимо нормировать общую погрешность, состоящую из квадратного корня из суммы квадратов линейности, температурного отклика, изотропности, ошибки по АЧХ, погрешности калибровки и нестабильности. Поэтому погрешность по каждой составляющей оси при проведении точных измерений должна быть минимизирована.

В российских лабораториях чаще всего используют один единственный датчик поля, который применяется для всех типов измерений, поэтому к выбору такого прибора необходимо подходить максимально ответственно и учитывать весь спектр задач, в которых он будет применяться. 

Подробнее с характеристиками датчика и генераторами поля можно ознакомиться на сайте www.ostec-electro.ru