

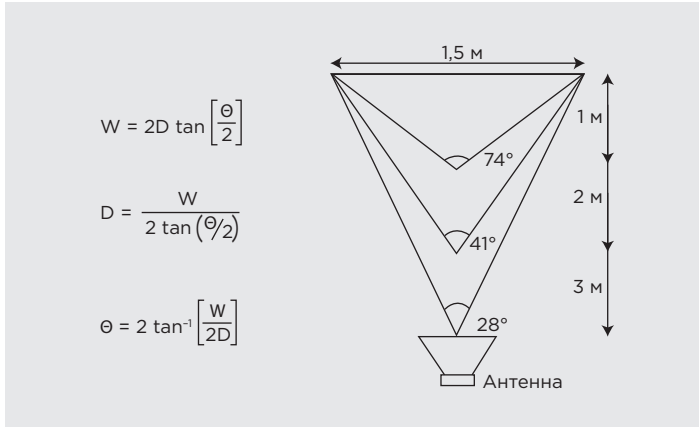
## ТЕХНОЛОГИИ

# НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАНИЯ ПОЛЯ В АКТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Текст: Дмитрий Кондрашов  
Алексей Шостак  
Патрик Дейкстра



В 2016 году компанией «Остек-Электро» был представлен новый метод построения испытательных систем на устойчивость и восприимчивость к радиочастотному электромагнитному полю по стандарту ГОСТ 30804.4.3-2013 (EN 61000-4-3), а также ряду специализированных стандартов до 18 ГГц с помощью нового класса приборов – генераторов поля и системы для автоматизации испытаний ЭМС.



1 Зависимость ширины ДН рупорной антенны от измерительного расстояния

Мы уже подробно рассматривали основные недостатки классической системы по ГОСТ 30804.4.3-2013, на основе которой проводят испытания, в статье «Зачем нужно менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС?»<sup>1</sup>. Кратко перечислим эти проблемы:

- высокий КСВН, обусловленный компактностью ЭМС-антенн, из-за которой возникает компромисс между согласованием, эффективностью (КПД) и размерами антенн;
- выбор между логопериодическими и рупорными антеннами при проведении испытаний. Логопериодическая антенна имеет крупные габариты ввиду использования её при облучении изделий в ВЧ- и СВЧ-диапазонах, а также не обладает должным уровнем усиления, что требует больше мощности для создания однородного поля и значения напряженности поля в точке. Рупорная антенна не позволяет на трёхметровом расстоянии облучать область 1,5 × 1,5 м для достижения однородного поля ±6 дБ из-за узкого луча диаграммы направленности (рис 1);
- потери в кабелях на переключение в каскадах УМ, НО, что в итоге приводит к существенным потерям, вследствие чего необходимо применять более мощный и дорогостоящий усилитель;
- для минимизации потерь необходимо размещать стойки с усилителями непосредственно в безэховой камере, что, во-первых, накладывает требования по устойчивости к воздействиям электромагнитного поля на стойку и, во-вторых, значительно влияет на однородность создаваемого поля, особенно при небольших размерах БЭК.

Учитывая эти недостатки, компанией DARE!! Instruments была разработана система, которая интегрирована в единый корпус и представляет собой



2 Генератор поля RFS2006BR

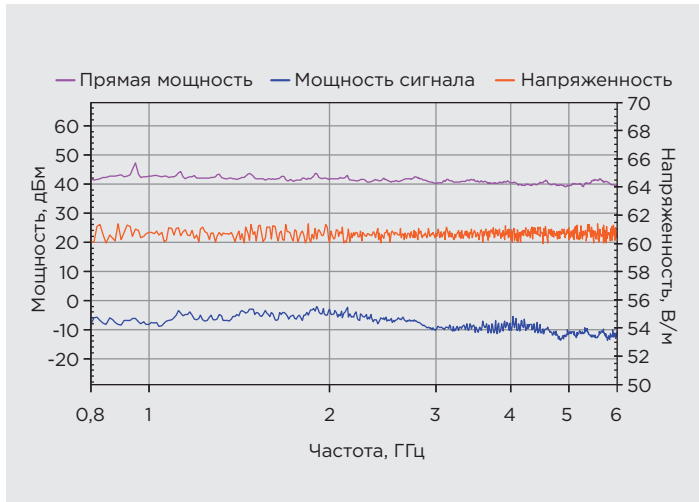
измерительный прибор (рис 2), состоящий из активной антенной решетки (далее ААР), усилителей и измерителей мощности, использует принцип суммирования поля каждого элемента ААР и контроля прямой и обратной мощности встроенных усилителей. С помощью этой технологии первоначально ставилась цель получить гарантированное значение напряженности поля на одном и трех метрах с учетом амплитудной модуляции для стандарта ГОСТ 30804.4.3-2013. Максимальный уровень напряженности поля, который был доступен на начало 2017 года – 54 В/м в диапазоне частот 800 МГц – 6 ГГц на расстоянии один метр с перепадом 0+6 дБ во всех четырех точках, что полностью удовлетворяло требованиям ГОСТ 30804.4.3-2013. Однако впоследствии инженерам удалось добиться значения напряженности поля в 60 В/м в аналогичном частотном диапазоне. Результаты ААР при вертикальной и горизонтальной поляризации представлены на рис 3 и 4. Можно отметить линейность и стабильность уровня создаваемой напряженности поля (оранжевый график) при обоих видах поляризации. Уровень подаваемого сигнала (синий график) показывает, что существует запас для усиления, позволяя в будущем повысить значения гарантированно создаваемой напряженности.

Максимально возможный уровень напряженности, которого удалось достичь данной ААР в диапазоне 800 МГц – 6 ГГц – это 80 В/м в точке на расстоянии 1 м (рис 5), что позволяет проводить испытания по авиационным и автомобильным стандартам.

Применение концепции ААР для испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю хорошо зарекомендовало себя и используется уже большим количеством современных лабораторий по всему миру: от США до Южной Кореи.

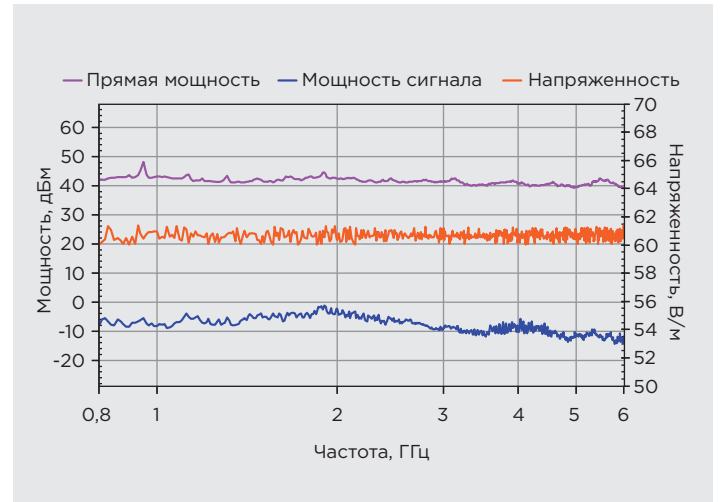
В конце 2017 года ООО «Остек-Электро» анонсировало новый комплект для испытаний на восприимчивость к РЧ-полю в диапазоне частот от 800 МГц до 18 ГГц, который построен на базе двух новых генераторов поля RFS2006BR (800 МГц – 6 ГГц) и RFS2018BR

<sup>1</sup> Вектор высоких технологий №6 (27) 2016



3

Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2006BR при горизонтальной поляризации



4

Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2006BR при вертикальной поляризации

(6 ГГц – 18 ГГц) (рис 6). Принцип работы суммирования полей в ААР остался прежним, однако генераторы позволили создавать поля напряженностью с гарантированным значением 75 В/м в точке на измерительном расстоянии 1 м (рис 7) и максимальным значением свыше 150 В/м (рис 8).

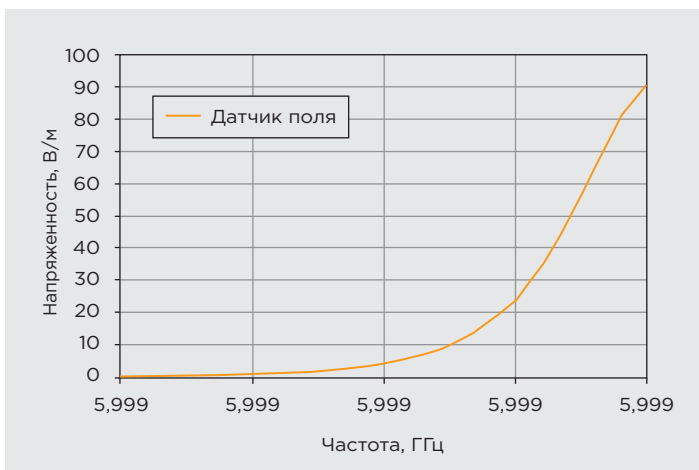
После доработки генератора поля RFS2018BR в 2018 году появилась возможность гарантированно создавать напряженность поля до 100 В/м во всём частотном диапазоне в одной измерительной точке, что позволяет использовать его для проведения испытаний по ряду автомобильных стандартов, к примеру, ISO 11451-2. Данная модернизация была осуществлена за счет уменьшения длины элементов ААР, а также использования нового материала для радиопрозрачного колпака RFS2018BR.

Таким образом, с помощью генераторов поля решается проблема совмещения и комбинирования в одном

устройстве требований по отечественным и зарубежным коммерческим, автомобильным и специализированным стандартам, тем самым позволяя существенно экономить бюджет лаборатории при приобретении оборудования, а также предлагая более широкие возможности в области проведения предварительных и сертификационных испытаний.

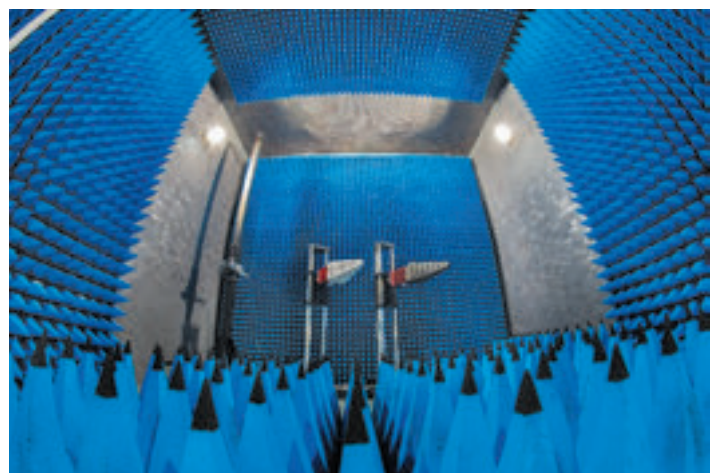
Учитывая потенциальные возможности комбинирования поля в ААР, есть следующие перспективы их использования:

- Доработка технической реализации генератора для достижения стабильного уровня напряженности поля в 150 В/м в безэховой камере. Генератор позволяет проводить испытания по авиационному стандарту КТ-160D раздел 20 (основная группа), требующему высоких уровней воздействия.



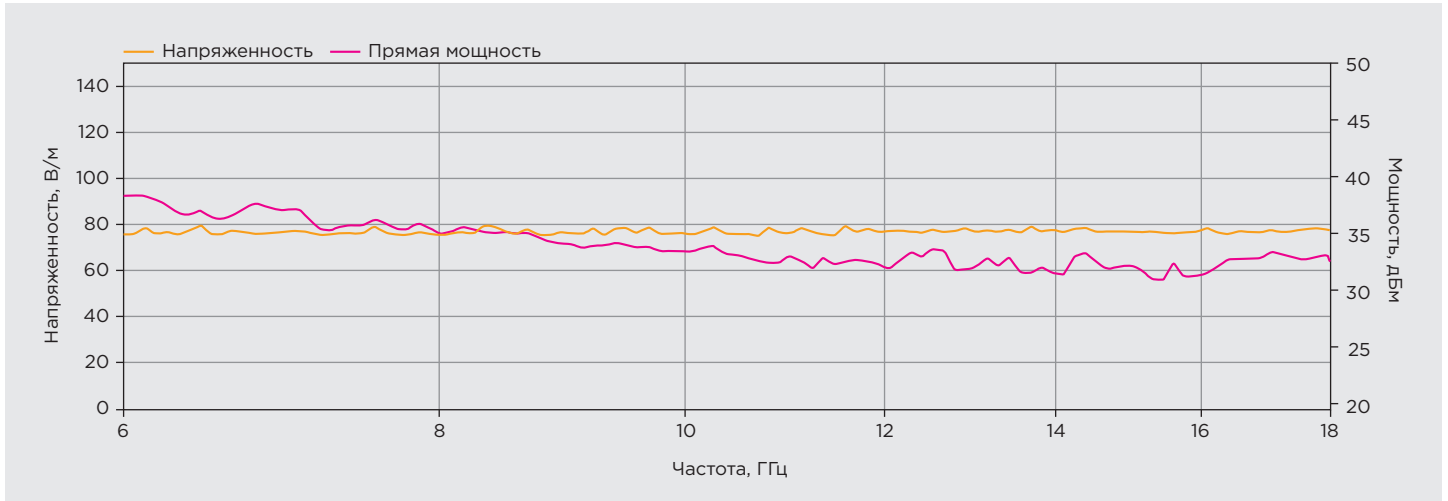
5

Максимальный уровень напряженности, создаваемый RFS2006BR в точке на 1 м



6

Генераторы поля RFS2006BR и RFS2018BR



7

Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2018BR на измерительном расстоянии 1 м при горизонтальной поляризации

- Использование генератора в реверберационных камерах для достижения уровня напряженности поля выше 200 В/м. Генератор позволяет проводить испытания по специализированным стандартам, например, по MIL-STD-461G (раздел RS103).
- Увеличение верхней границы частотного диапазона генераторов поля до 67 ГГц для испытаний в аэрокосмической промышленности.

Однако несмотря на используемый подход к облучению тестируемого устройства, наиболее важной задачей остается калибровка испытательного стенда и точные измерения характеристик однородности поля используемой безэховой камеры, а также тип применяемого датчика напряженности поля. В статье «Как обеспечить точность измерений напряженности поля»<sup>2</sup> мы уже рас-

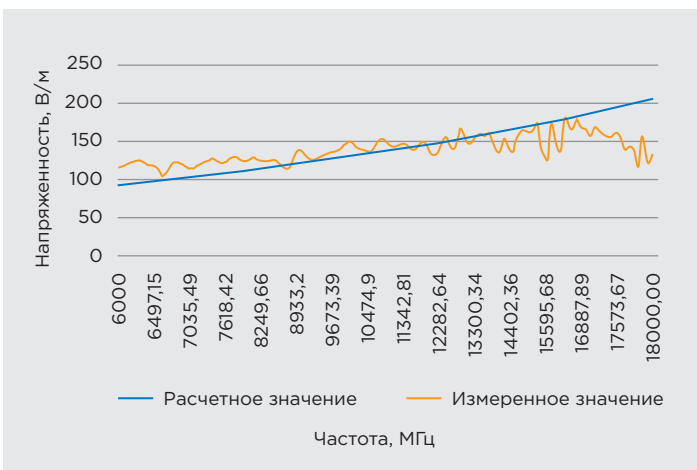
сматривали особенности датчиков поля, которые приведены на графике зависимости частоты от прямой мощности с антенны.

На графике (рис 9) 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. Как видно из графика, в диапазоне частот от 3 ГГц наблюдается значительное отклонение показаний прямой мощности, несмотря на то, что датчики отображают одинаковое значение напряженности поля.

На рис 10 приведены графики с кривыми по каждой координате для тех же трех тестируемых датчиков. Значительные отклонения наблюдались в диапазоне частот от 3 ГГц, а также для датчика с батарейным питанием ниже 100 кГц.

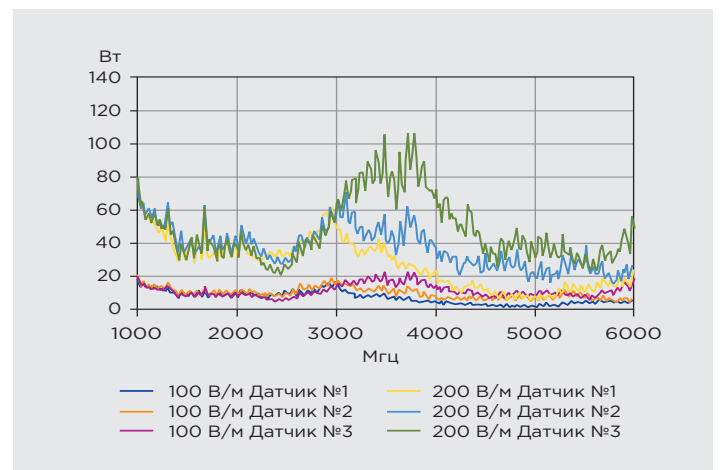
Если сравнить две особенности, одинаковые для всех датчиков поля, существенные отклонения воз-

<sup>2</sup> Вектор высоких технологий № 3 (38) июль 2018



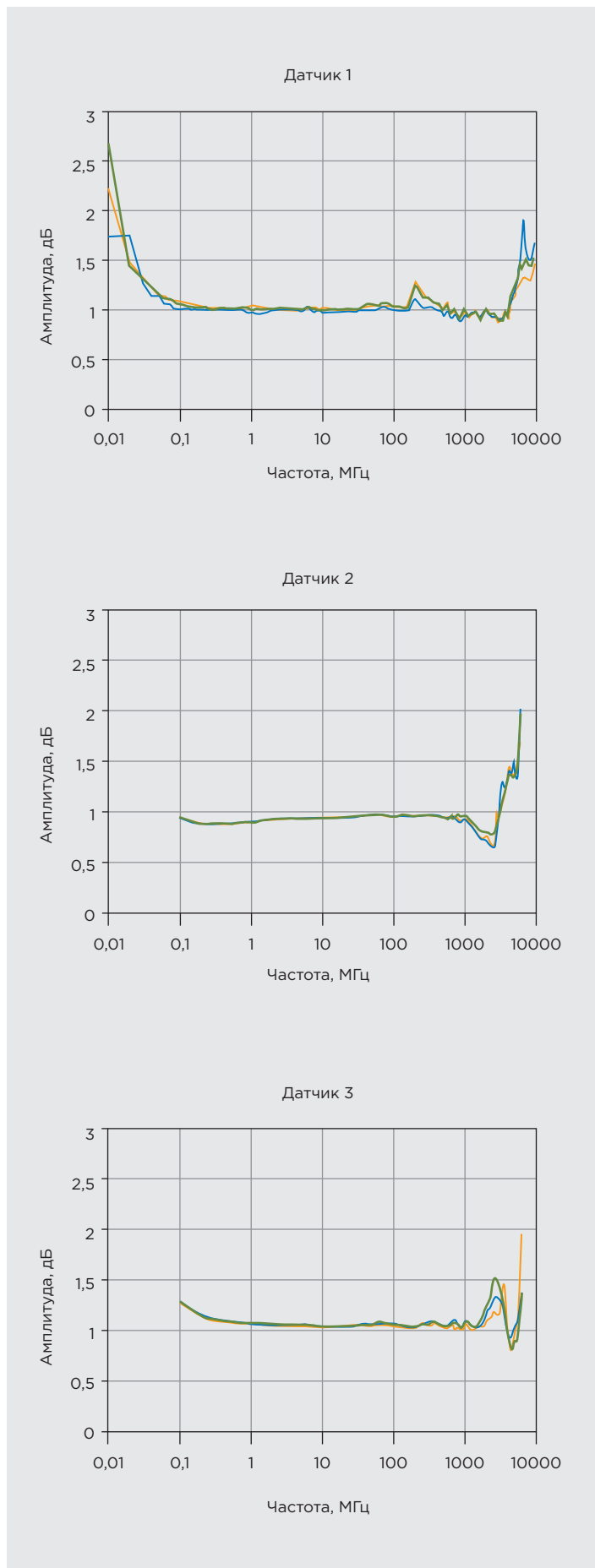
8

Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2018BR на 1 м в частотном диапазоне 6–18 ГГц



9

Зависимость частоты относительно прямой мощности при горизонтальной поляризации



10

Графики АЧХ для датчика №1, №2 и №3.

никают в одном и том же диапазоне частот выше 3 ГГц. Это происходит из-за нескольких факторов:

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

Учитывая эти недостатки, специалисты DARE!!

Instruments приняли решение разработать серию датчиков RSS2010 (рис 1 1), которые на сегодняшний день являются самыми точными приборами для измерения однородности поля и калибровки испытательных систем на устойчивость к РЧ-полю в диапазоне частот 9 кГц – 12 ГГц. На рис 1 2 приведен график АЧХ-датчика поля серии RSS2010 с минимальной погрешностью 0,3 дБ.

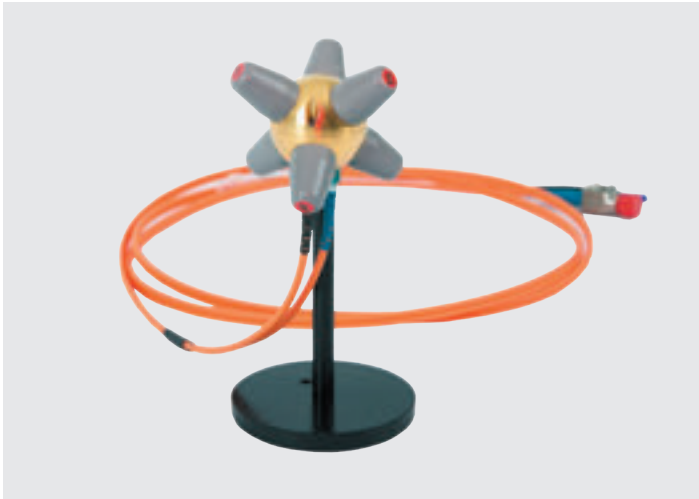
Потребность в аппаратуре для проведения испытаний бортовой аппаратуры стремительно возрастает. Так как на основе активных антенных решеток стало возможно проводить испытания на восприимчивость к излучаемому ЭМ-полю, специалисты Остек-Электро приняли решение разработать комплекс собственного производства, который дополнял бы данную систему генераторами для проведения испытаний на восприимчивость к кондуктивным помехам (по стандарту MIL-STD-461G):

- НЧ-синусоидальное воздействие (раздел CS101);
- ВЧ-синусоидальное воздействие (раздел CS114);
- импульсное воздействие (раздел CS115);
- импульсное затухающее синусоидальное воздействие (раздел CS116).

Совмещение данных генераторов с генераторами поля и системами для CS114 DARE!! Instruments (выполняющими требования раздела RS103 «Восприимчивость к излученному электрическому полю» и CS114) позволяет полностью соответствовать проведению испытаний по отечественным стандартам ЭМС к бортовой авиационной аппаратуре.

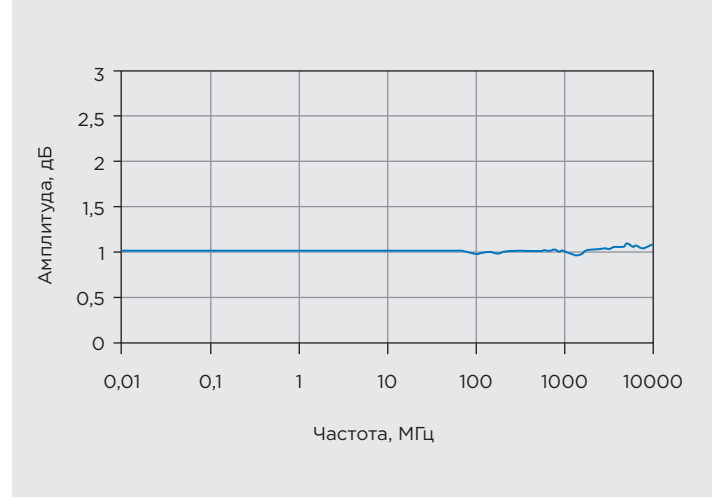
Выполнение испытаний по разделам CS101, CS115 и CS116 осуществляется модульной системой собственной разработки и производства – генератором импульсным комбинированным ГИК3000 (рис 1 3). Помимо MIL-STD-461G стандарта система также отвечает требованиям других отечественных и зарубежных стандартов, таким как: DO-160, КТ-160D (разделы 17 и 19).

Испытания по разделу CS114 возможны благодаря оборудованию системы DARE!! Instruments CIT Bundle (рис 1 4), представляющей собой полностью укомплектованный комплекс для выполнения испытаний на устойчивость к кондуктивным высокочастотным помехам в соответствии с требованиями стандартов IEC/EN 61000-4-6 (ГОСТ 51317.4.6-99), MIL-STD-461G, КТ-160D, ISO11452-4. Высо-



1 1

Внешний вид датчика серии RSS2010



1 2

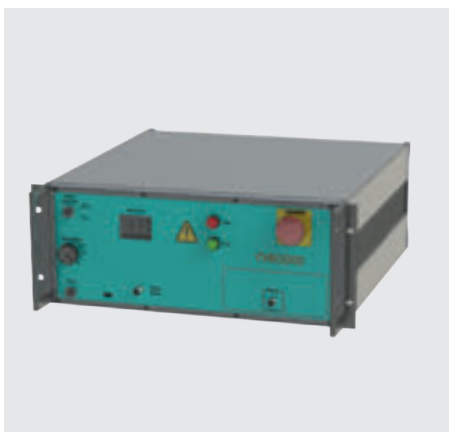
График АЧХ-датчика поля серии RSS2010

кочастотный генератор и высокочастотный усилитель мощности, входящие в комплекс, позволяют формировать выходные сигналы мощностью до 200 Вт и выше в диапазоне частот от 9 кГц до 400 МГц. Также возможно понижение диапазона до 4 кГц для моделирования токов общего режима, которые присутствуют на силовых кабелях переменного тока аппаратуры, установленной на платформах с питанием от статических генераторов, таких как корабли и подводные лодки.

С помощью вспомогательного внутреннего направленного ответвителя система может измерять мощность в прямом и в обратном направлениях (отраженная мощность), используя датчики мощности собственной разработки RPR2006CR (рис 1 5), которые в диапазоне частот 4 кГц – 6 ГГц регистрируют мощность со скоростью до 10 млн отсчетов/с. Комплекс обеспечивает выполнение тестов в полностью автоматическом режиме в заданном диапазоне частот. Также с комплектом поставляются дополнительные опции: устройства связи/развязки, базовое шасси, программное обеспечение.

**Используя уникальные возможности активных антенных решеток и другой продукции DARE!! Instruments во взаимодействии с различной измерительной аппаратурой на ЭМС, можно решать самые различные задачи проверки устойчивости радиоэлектронного оборудования к мощным электромагнитным воздействиям, позволяя экономить как бюджет, так и время на проведение испытаний.**

*Подробнее с характеристиками аппаратуры можно ознакомиться на сайте [www.ostec-electro.ru](http://www.ostec-electro.ru)*



1 3

Генератор ГИК3000



1 4

Система DARE!! Instruments CIT Bundle



1 5

Датчик мощности RPR2006CR