

БЫВАЮТ ЛИ ОСЦИЛЛОГРАФЫ для ЭЛЕКТРО- МАГНИТНОГО ПОЛЯ?

Текст: Алексей Шостак
Дмитрий Кондрашов
Эйке Сутау
Маттиас Крейтлоу

Зачем нужен датчик поля?

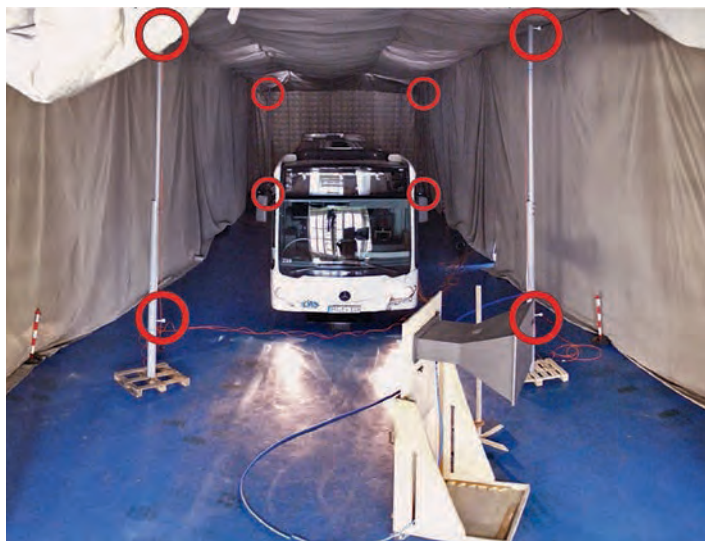
Измерение уровня воздействия электрических полей на радиоэлектронную аппаратуру всегда будет актуальной задачей. Например, в процессе эксплуатации бортовое оборудование любого воздушного судна подвергается воздействию полей электромагнитного излучения. Это излучение обусловлено сигналами от близлежащих радиопередатчиков других устройств в частотном диапазоне от 10 кГц до 40 ГГц. Оно может привести к значительному ухудшению качества функционирования бортовых систем гражданских воздушных судов, попадающих в эту электромагнитную среду, потере работоспособности элементов и устройств, возникновению аварийных ситуаций. Уровень мощности такого излучения может достигать высоких значений.

Например, согласно стандарту КТ-160 «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования», уровень электрического поля при испытаниях на восприимчивость к помехам радиоизлучения летательных аппаратов достигает 7,2 кВ/м (категория L). А если рассматривать требования к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), то на момент написания данной статьи еще нет единого стандарта, определяющего уровни воздействия на БПЛА различных типов, а также нормирования уровня излучения от них.

Проблема влияния на аппаратуру импульсного электрического поля высокой мощности есть также и в автомобильной промышленности. Испытания на устойчивость к радиочастотному полю автомобильной электроники часто проводят в реверберационных камерах (рис 1) (по стандартам SAE J1113/27, IEC 61000-4-21). Это камеры, конструкция которых позволяет полностью отражать сигналы всеми поверхностями, т.е. отсутствует поглощение и нет стоячих волн, что даёт возможность создавать поля напряженностью до нескольких сотен вольт на метр.

Для решения задач измерений импульсных электрических полей высокой мощности используют датчики напряженности электрического поля: в безэховых, реверберационных камерах и на полигонах для испытаний на устойчивость к электромагнитному полю и испытаний на помехоэмиссию. Их конструкция оказывает минимальное влияние на результаты проведённых измерений, позволяя точно и быстро точно сканировать пространство испытательной площадки.

В статье мы рассмотрим работу нового датчика импульсного электрического поля LSProbe 1.2 (рис 2) немецкой фирмы Lumiloop GmbH.



1 Испытания автобуса в реверберационной камере



2 Датчик импульсного электрического поля LSProbe 1.2

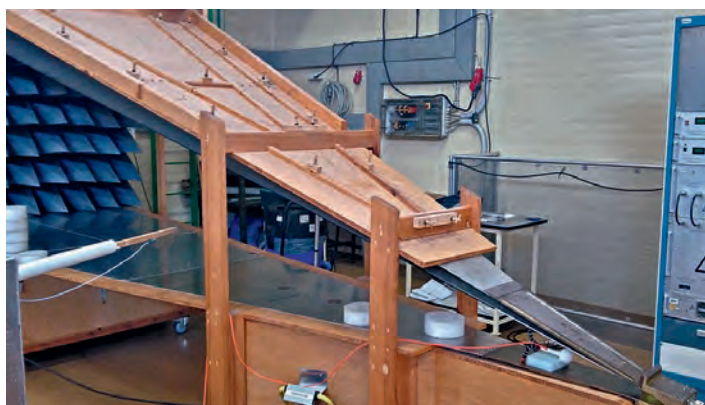
Универсальный датчик поля LSProbe 1.2

Основное преимущество датчика – отображение значения импульсного электромагнитного поля по каждой из оси X, Y и Z в частотной и временной областях со сверхвысокой скоростью измерения для захвата очень коротких импульсов и модулированных сигналов. По сути, LSProbe 1.2 является анализатором электромагнитного поля с лазерным питанием, позволяющим работать непрерывно без подзарядки или замены батареи. Для увеличения точности измерений датчик использует внутренний коэффициент калибровки и может обмениваться данными по оптоволоконным кабелям до 1 000 м. Конструкция и калибровочные характеристики датчика обеспечивают уровень измерения непрерывного электрического поля, превышающий 25 кВ/м в диапазоне частот от 30 МГц до 12 ГГц. Однако наибольший интерес в LSProbe 1.2 представляет его функционирование при наличии сверхвысоких импульсных электромагнитных полей. Именно эти технические характеристики мы рассмотрим далее.

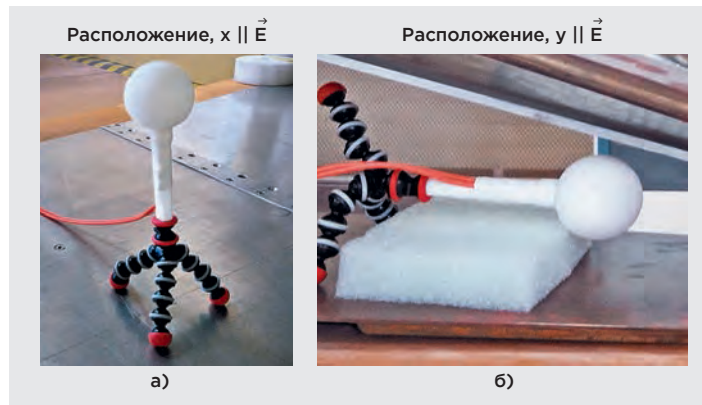
Экспериментальная установка

При проведении испытаний на восприимчивость к импульсному электромагнитному полю высокой мощности датчик LSProbe 1.2 располагается по центру в боковом открытом волноводе GTEM-камеры (рис 3). На волновод длиной около 5 м подается питание с генератора импульсов PBG7 компании Kentech Instruments Ltd., способного подавать амплитуду импульсов 45 кВ на нагрузку 50 Ом. Частота импульсов генератора – 500 Гц с временем нарастания фронта 150 пс и длительностью 2 нс.

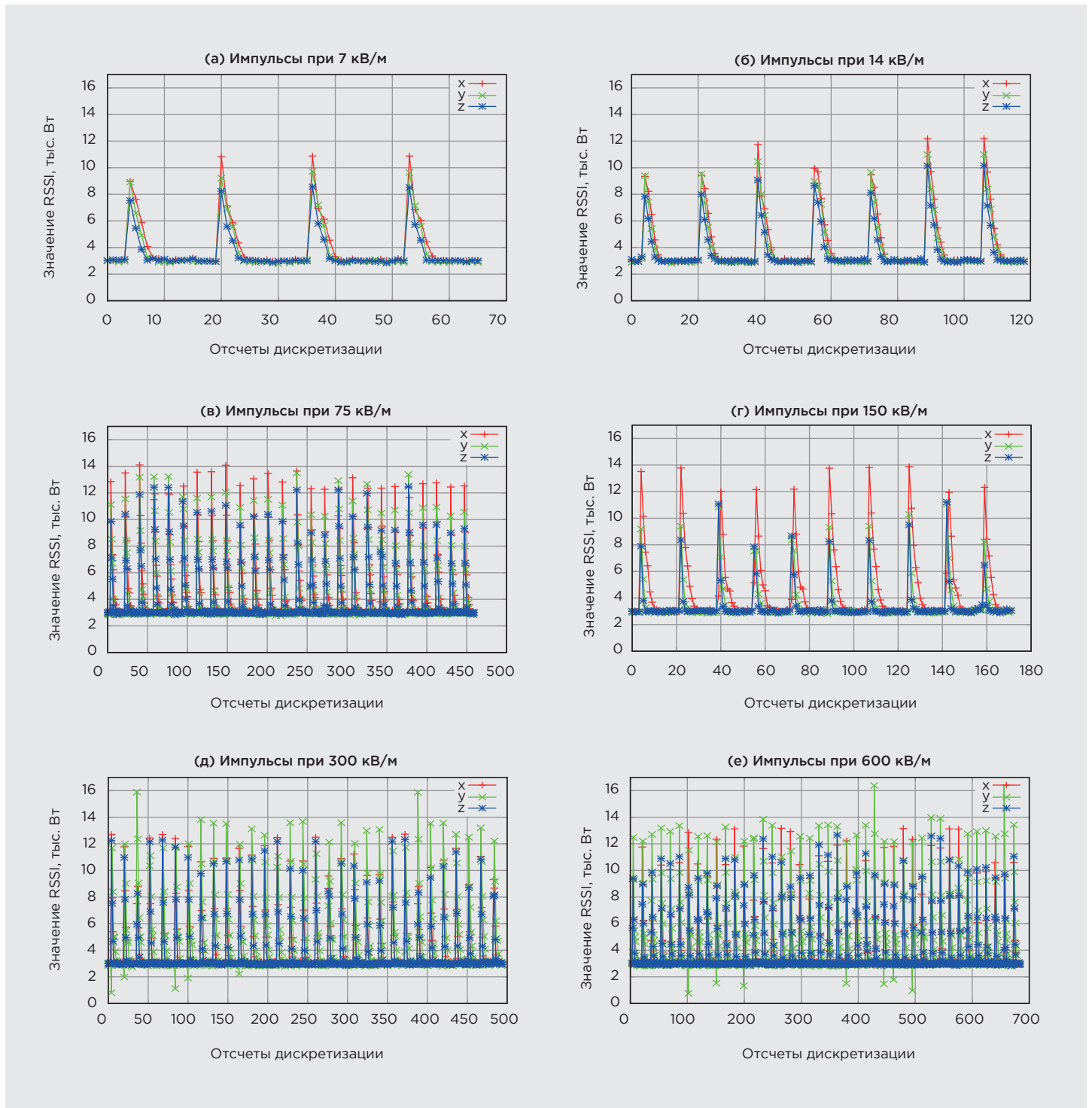
Измерение напряженности импульсного электромагнитного поля происходит при изменении задаваемого выходного сигнала с генератора импульсов, а также изменении положения датчика поля внутри волновода (рис 4). Датчик поля работает в нулевом режиме, который позволяет использовать диапазон частот от 30 МГц до 6 ГГц. Частота дискретизации в нулевом режиме составляет 500 000 отсчетов/с, время нарастания импульса аналогового сигнала – около 330 нс.



3 Волновод GTEM-камеры и генератор импульсов



4 Расположение датчика электронного поля для измерения низких (а) и высоких (б) значений напряженности импульсного поля



5

Значения RSSI для различной импульсной напряженности поля, отсчитанные при частоте дискретизации 500×10^3 отсчетов/с

Значения уровня принимаемого сигнала (RSSI) регистрируют интенсивность импульсного электрического поля, позволяя получать информацию о возможных условиях перегрузки датчика поля.

Виды испытаний

Испытания проводятся при уровнях воздействий 7, 14, 75 и 150 кВ/м при расположении датчика поля, как показано на рис 4а, т. е. электрическое поле параллельно оси X датчика

поля. При уровнях 300 и 600 кВ/м датчик располагается, как показано на рис 4б, т. е. электрическое поле параллельно оси Y датчика поля.

На рис 5 показаны типичные импульсы для каждого значения напряженности поля, интервалы между импульсами были удалены программным путем для удобства отображения измеряемых значений.

На графиках видно, что значения RSSI ниже, чем уровень шума основной оси. Это наблюдается при калибровке

уровней сигнала высокой мощности. Таким образом, можно сделать вывод, что детектор RSSI испытывает перегрузочное состояние.

На рис 6 показан график значения RSSI в зависимости от логарифмического значения напряженности поля. На графике четко показаны максимальные значения RSSI, которые пропорциональны напряженности, создаваемой импульсами генератора. Форма колебаний сигнала при 150 кВ/м является небольшим исключением из общего графика. По причине статистического характера измерений и небольшого числа измерений для данной напряженности поля реальное пиковое значение не было зафиксировано должным образом. В каждом случае оси, перпендикулярные вектору электрического поля, отделяются от основной оси примерно на 20 дБ.

Выводы

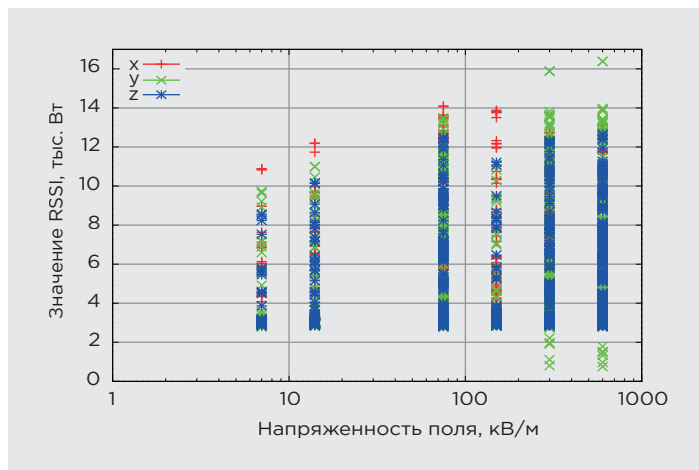
Датчик импульсного электрического поля LSProbe 1.2 показывает стабильную работу при значениях напряженности поля до 600 кВ/м. Таким образом, LSProbe 1.2 может подвергаться воздействию импульсных электрических полей высокой мощности, пока их среднее значение не превышает пика измерений датчика.

Можно заметить, что вход и детектор мощности датчика поля действуют как фильтр нижних частот для входных импульсов. При этом датчик поля не может определить истинное максимальное значение электрического поля, поскольку длительность переднего фронта импульса сигнала слишком мала. Однако можно сказать, что относительная величина амплитуды импульса поля пропорциональна наблюдаемому значению напряженности поля. Датчик можно использовать в генераторе с постоянной по времени формой импульсов, вырабатывающем непрерывную последовательность повторяющихся импульсов, для измерения относительной напряженности электромагнитного поля.

Измерения были выполнены с использованием специального аппаратного и программного обеспечения, позволяющего обрабатывать и отображать полученные данные, оно поставляется вместе с датчиком поля.

Версия датчика электрического поля LSProbe 1.2 имеет ряд функций, которые значительно упрощают измерение импульсных полей:

- **Режим «Выброс».** Отсчет выполняется со скоростью 2 млн отсчетов в секунду, позволяя проводить сканирование во всем частотном диапазоне за короткий промежуток времени.
- **Запуск по уровню поля.** Пиковое значение импульсного электрического поля можно легче определить, используя установку уровня запуска по амплитуде как можно выше. Так как частота дискретизации датчика поля и частота повторения импульсов не синхронизированы, то сэмплирование в области пиковых значений импульсного поля позволит построить приближенный график данных пиковых значений и оценить максимальный уровень напряженности поля.



6 Значение RSSI в зависимости от импульсной напряженности поля

- **Режим статистики.** Поставляемое с датчиком программное обеспечение позволяет осуществлять непрерывный сбор статистики напряженности поля. Режим статистики включает измерение максимальной напряженности поля и распределения напряженности поля в течение неограниченного времени. Импульсное поле с постоянной формой импульса создает характерное распределение относительной напряженности поля, которое может быть откалибровано для каждой формы импульса, что позволит получить абсолютные значения напряженности поля. ▢

Датчик LSProbe 1.2 – это высокопроизводительная платформа для измерения непрерывных и импульсных электрических полей. Описанные испытания подтверждают, что LSProbe 1.2 – это своего рода «осциллограф» для электромагнитного поля, он измеряет амплитуды полей высокой напряженности и регистрирует их значения во временной области, которые отображаются благодаря сопутствующему программному обеспечению. В перспективе использование такого датчика позволит повышать уровни электромагнитных воздействий для проверки устойчивости радиоэлектронной аппаратуры, например, устройств авиакосмической отрасли с верхней границей частотного диапазона до 18 или 40 ГГц.