

Зачем нужно менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС?



Текст: **Дмитрий Кондрашов**



Если зайти сегодня в российскую ЭМС-лабораторию любого хорошо оснащенного испытательного центра, то можно увидеть огромное количество разнообразного оборудования иностранного и российского производства. При этом большинство таких лабораторий часто сталкиваются с двумя основными проблемами: ограничение по времени и по месту проведения испытаний. Во-первых, срочные заявки на тестирование необходимо совместить с плановой работой. Во-вторых, в большинстве ГОСТов на ЭМС заложено требование осуществлять измерения внутри безэховых камер, количество которых в испытательных центрах ограничено из-за немалой цены и отсутствия необходимого для установки пространства. Кроме этого, помимо времени на сам процесс испытаний, рабочее время инженера складывается из нескольких факторов: время на монтаж, настройку и согласования разнообразного оборудования, на анализ и отчет о проведенном тестировании, а также на сервисное обслуживание приборов, которое также требует значительных временных ресурсов. Поэтому общее время, затрачиваемое специалистом на весь спектр работ, является одним из самых важных критериев при выборе оборудования.

В статье мы расскажем, каким образом уменьшить общее время на проведение испытаний, применяя самые современные подходы, на примере международного ЭМС-стандарта на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю МЭК 61000-4-3 (EN-61000-4-3) и проведем сравнение с более старыми подходами к тестированию.

Согласно стандарту МЭК 61000-4-3 (EN-61000-4-3) электромагнитное поле должно формироваться на дистанции 3 метра от антенны до испытуемого устройства (далее ИУ). Такое поле называется гомогенным или тихой зоной. Площадь тихой зоны должна быть 1,5 x 1,5 м, и при этом 1 метр кабеля ИУ должен также находиться в этом поле. Однородным полем считается при условии, когда 75 % от двенадцати точек в этой зоне удовлетворяет допуску от 0 до +6 дБ.

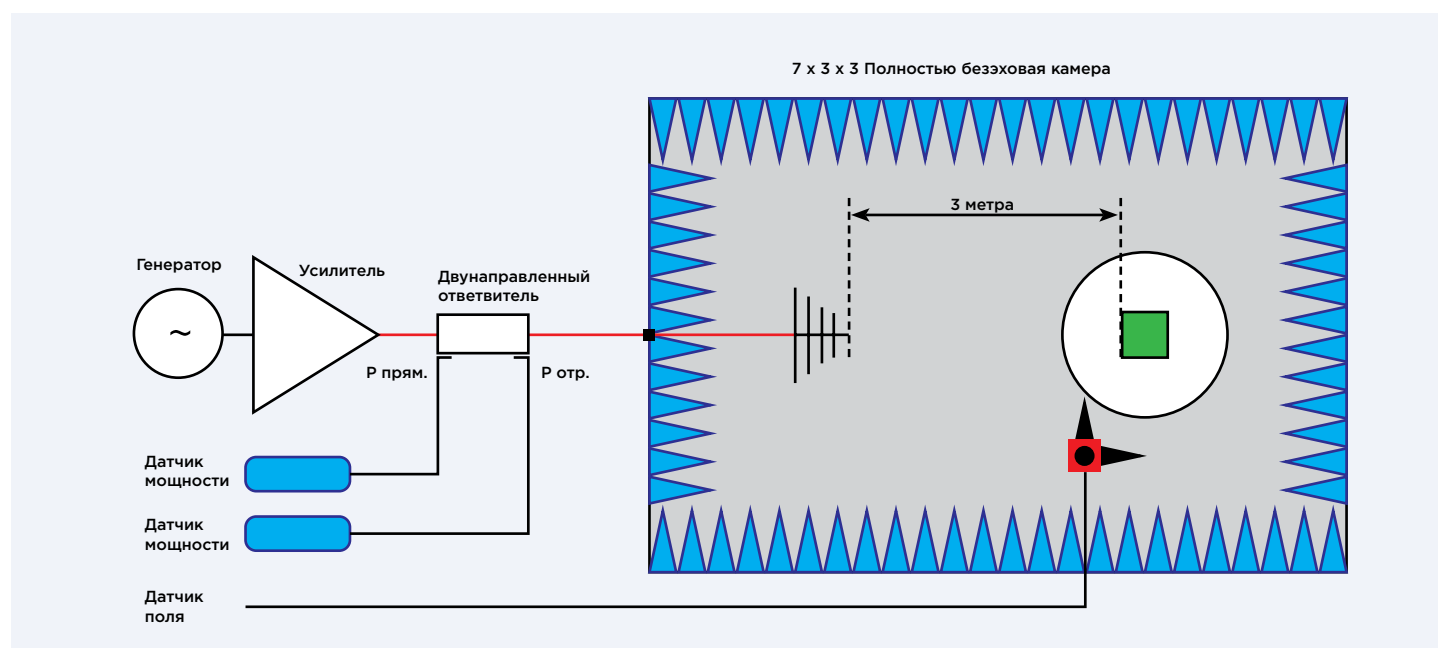
В классических системах тестирования на устойчивость разработчик должен проанализировать огромное количество отдельных показателей комплекса, которые нужно учитывать для интегрирования в тестовую систему. Далее рассмотрим, с какими трудностями приходится сталкиваться инженерам при проведении испытаний.



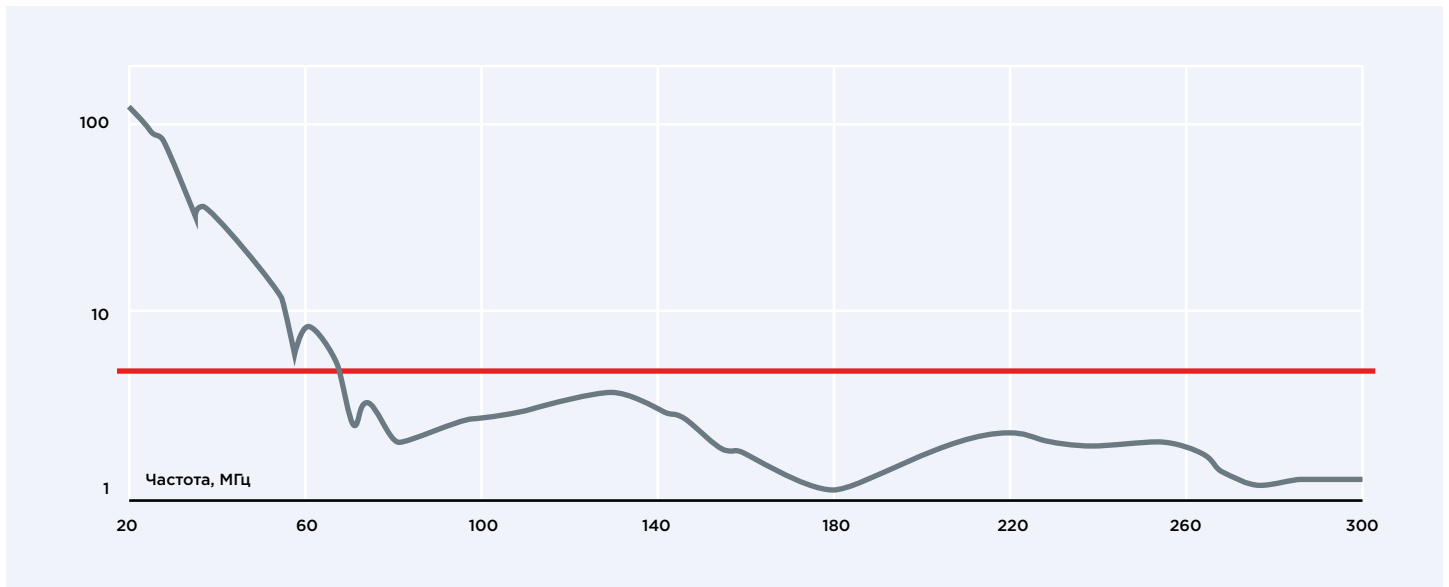
1 Система RadiField Triple-A

Мощность или поле?

Довольно часто значительные временные ресурсы инженер тратит при выборе усилителя мощности, расчете усиления антенны, ширины лепестка диаграммы направленности и потерь в кабеле. Все эти расчеты нужны для согласования требований стандарта на однородность тихой зоны и уровня электромагнитного поля.

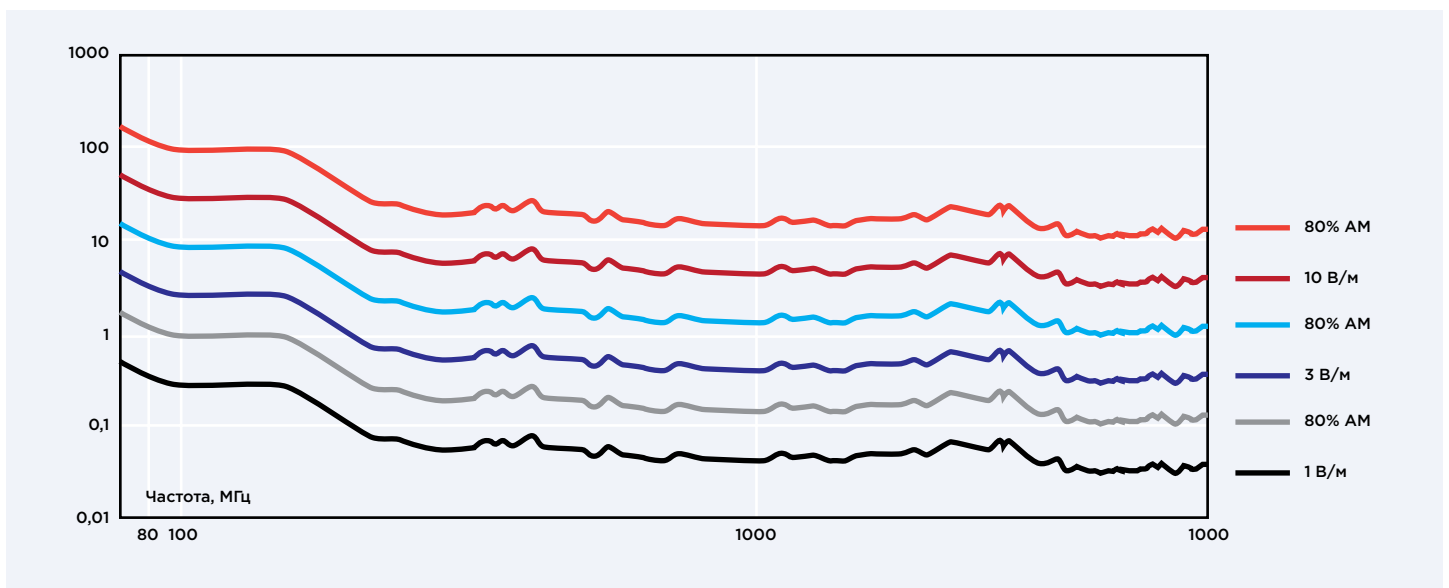


2 Пример традиционной системы для измерения устойчивости, измерительная система снаружи



3

Типичное значение КСВН биконической антенны



4

Входная мощность поля на дистанции 3 м

Для обеспечения этих требований разработан уникальный комплекс, сбалансированно сочетающий в себе все потребности современной ЭМС-лаборатории. Система RadiField Triple-A обеспечивает гарантированное электромагнитное поле в безэховой камере и соблюдение однородности поля, выполняя все требования стандартов рис 1. Пользователь не будет беспокоиться об уровне усиленной мощности, 1 дБ точке компрессии, потере в кабеле, нестабильном излучении и т.д. Для тестирования используется только уровень ЭМ и измерения его параметров. В один форм-фактор включены сразу несколько типов оборудования: усилители, антенны и генератор сигналов. Поэтому данное решение позволяет сэкономить денежные вложения и время на установку и настройку общего комплекса для испытаний.

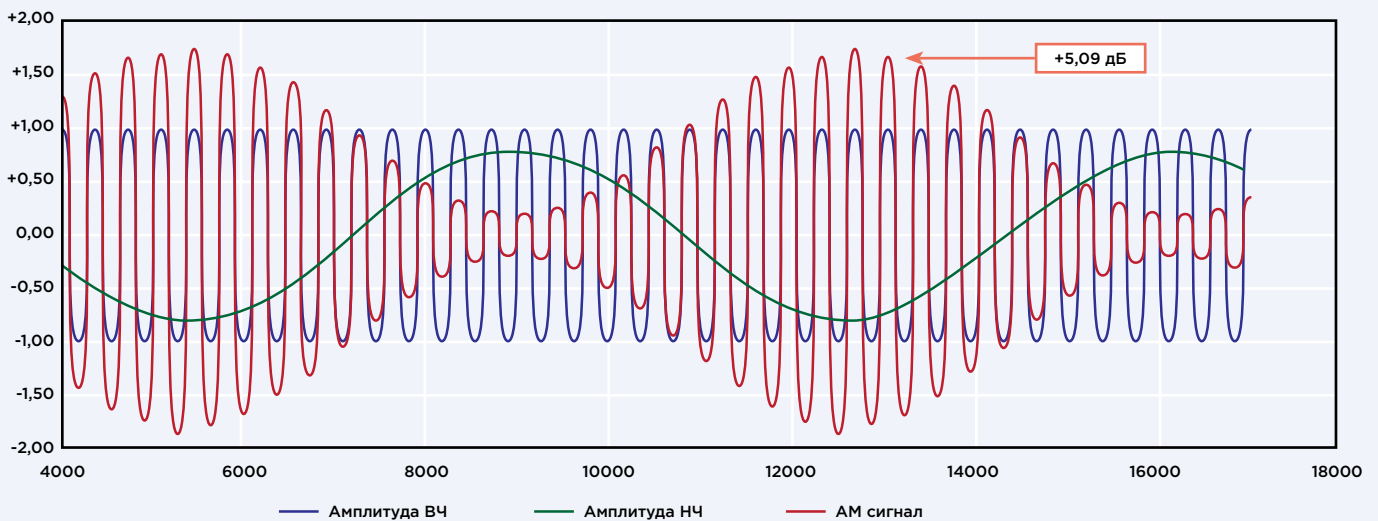
Как правило, в традиционной системе для измерения устойчивости стойка с усилителями находится за пределами камеры вместе со всеми другими измерительными приборами (генераторы, измерители мощности, двусторонние ответвители (DDC) и т. д.) рис 2.

Одними из самых критичных элементов системы, влияющими на финальный уровень поля, являются коаксиальные кабели и коннекторы:

- от выхода усилителя до входа DDC;
- между выходом ответвителя и до входа проходной панели безэховой камеры;
- от выхода проходной панели камеры до входа антенны.

При расчетах инженеру необходимо учесть все потери на этих трёх участках линии. Потери могут достигать 3 дБ даже у самых качественных кабелей, включая

Сравнение AM сигнала



5

Сравнение между непрерывным режимом и 80 % AM сигнала

вносимые потери, потери из-за длины кабеля и т.д. Как нежелательную альтернативу данному решению оборудование часто располагают внутри камеры. Причины для этого достаточно очевидны, но такой подход противоречит стандарту испытаний. И хотя данное решение исключает дополнительные потери из-за длины кабеля между антенной и выходом системы, потери никогда не будут нулевыми. Еще одним недостатком перемещения оборудования в камеру является его влияние на результаты измерения. И в то же время измерительное оборудование должно быть само по себе устойчиво к воздействиям электромагнитного поля.

Антенна и усилитель

В ЭМС-комплексах часто встречаются нагрузки, имеющие КСВН (коэффициент стоячей волны по напряжению) более, чем 1:6. Такой КСВН значит, что 50 % выходной мощности отражается и возвращается в конечном счете на усилители. Если рассматривать диапазон частот от 20 МГц до 1000 МГц (и выше), то видно изменение КСВН и то, как эти изменения должны учитываться при выборе правильного усилителя и его класса.

На графике приведен наглядный пример в диапазоне частот от 20 до 300 МГц рис 3. Можно увидеть, что высокие значения КСВН лежат в диапазоне от 20 до 80 МГц. В этом частотном диапазоне длинные радиоволны и компактные ЭМС-антенны — это компромисс между согласованием, эффективностью (КПД) и размером антенны.

Теперь рассмотрим диапазон частот от 80 до 1000 МГц. Как известно, с ростом частот длины волн уменьшаются, и размер таких антенн намного ближе к соответствующим длинам волн. Типичными антенна-

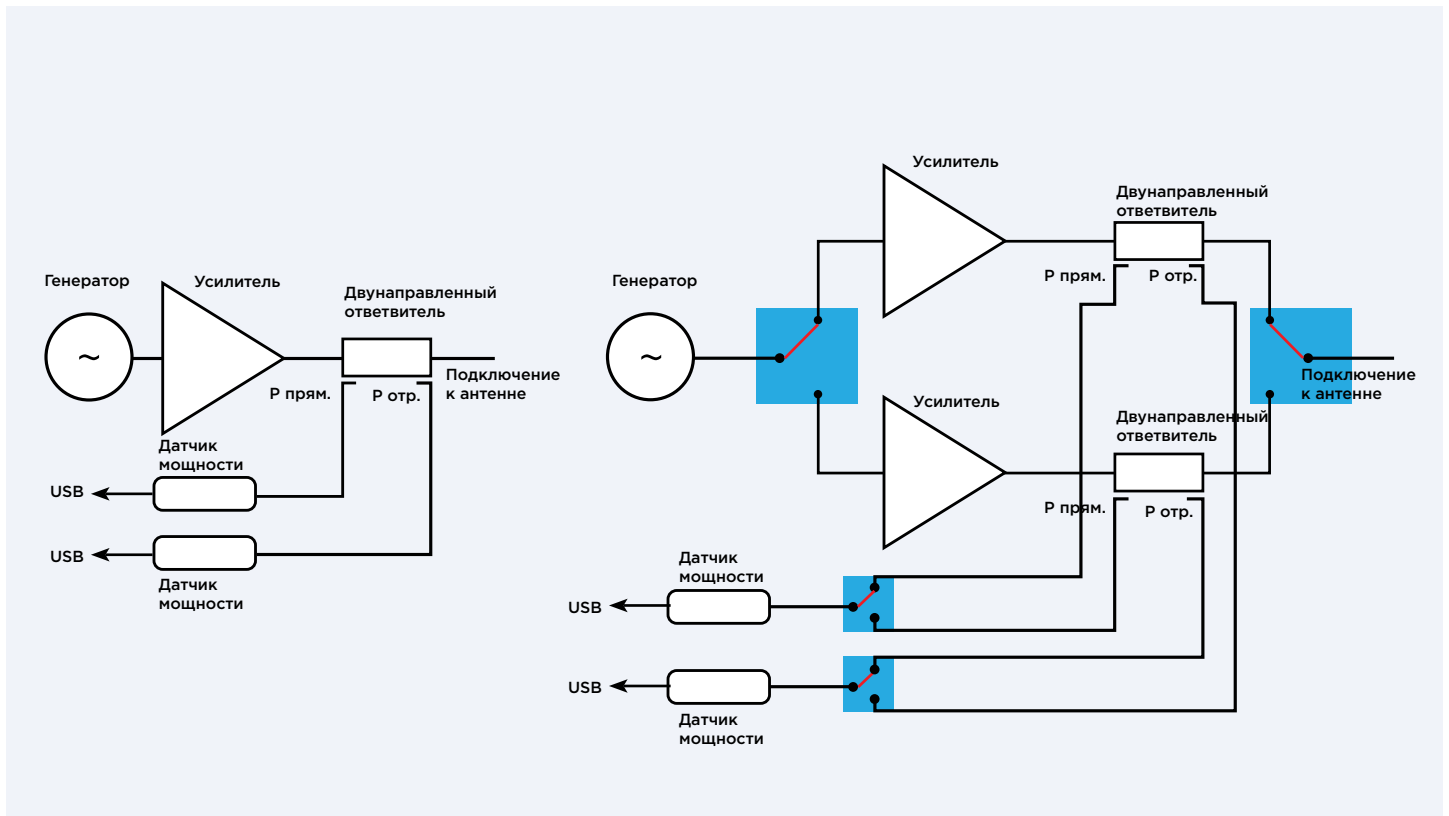
ми на высоких частотах являются логопериодические и рупорные антенны, КСВН которых гораздо меньше 1:3, что позволяет работать на более высоких частотах с меньшими потерями.

Однако если рассмотреть график отношения частоты к мощности поля на входе широкополосной логопериодической антенны для 80 МГц, то можно увидеть следующие данные рис 4:

- с помощью усилителя создается поле 10 В/м в немодулированном непрерывном режиме при выходной мощности более, чем 50 Вт!
- пиковая мощность огибающей создает только 10 В/м + 80 % AM при мощности уже более 161,5 Вт (+5,1 дБ в непрерывном режиме);
- средняя мощность с 80 % модуляции при не менее 66 Вт средней мощности (+1,2 дБ в непрерывном режиме).

На графике можно увидеть, что огибающая AM симметрична по отношению к пиковому напряжению несущей непрерывного сигнала рис 5. Это означает, что усредненное напряжение модулированного сигнала такое же, как среднее значение уровня напряжения в непрерывном режиме. Однако это условие нельзя применить к мощности сигнала, т.к. мощность сигнала выражается через мощности двух среднеквадратичных напряжений $P=U^2/R$. Таким образом, средняя мощность AM сигнала немного (1,2 дБ) выше по сравнению со значением немодулированной мощности сигнала. Часто встречаются усилители мощностью 150 Вт, которые могут работать с таким типом антенн. Но нужны ли усилители класса А для решения задач измерений? Или подойдут усилители класса АВ?

Как простой пример, возьмем значение отраженной мощности и требования по искажениям. На частоте 80 МГц требуемая прямая мощность 162 Вт (пиковая



6

Традиционные системы с однополосными и двухполосными РЧ-усилителями

мощность огибающей). Но мы все равно используем усилитель на 66 Вт средней мощности, так как АМ симметрична к непрерывному уровню мощности сигнала. И в итоге мы получаем огромное количество тепла на выходе с той же мощностью.

Усредненная отраженная мощность — это 50 % с КСВН антенны 1:6 от прямой мощности, т.е. 33 Вт. Это значит, что такая антенна может легко работать с мощностью 160 Вт по классу АВ. При этом усилитель имеет максимальное КСВН 1:3, что соответствует 25 % от прямой мощности, т.е. 40 Вт. Поэтому в традиционных системах на ЭМС-устойчивость необходимо учитывать дополнительные параметры, такие как:

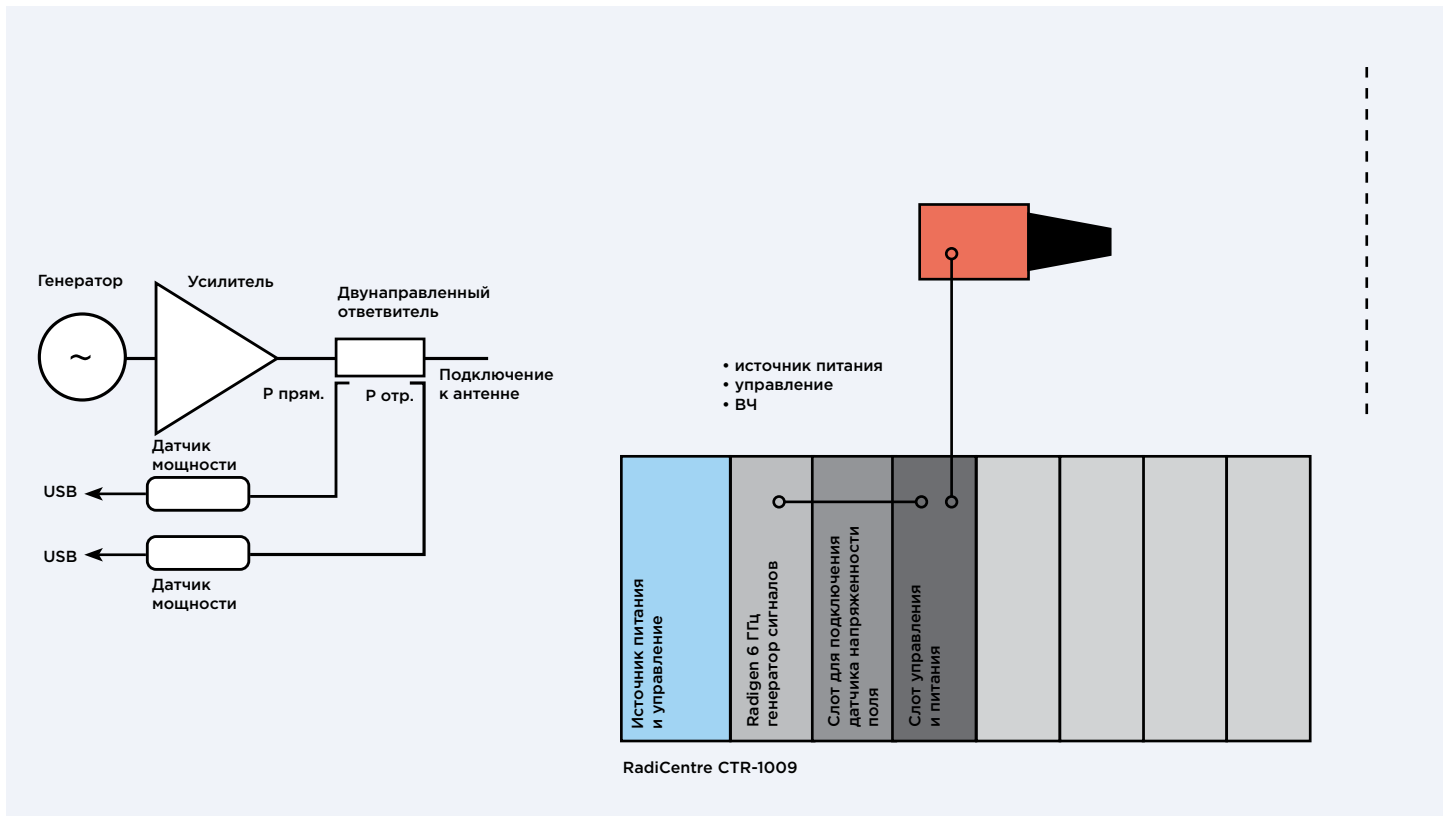
- точка 1 дБ компрессии, которая позволяет оценить, насколько искажен сигнал в пиковых значениях модуляции;
- регулировка уровня КСВН, т.к. в случае высокого рассогласования антенны передаваемая мощность может вернуться обратно в усилитель.

Теперь рассмотрим традиционные антенны для тестирования на устойчивость в частотном диапазоне от 1 ГГц до 6 ГГц. Как и в диапазоне от 300 МГц до 1000 МГц здесь преимущественно используются классические логопериодические и рупорные антенны, и основной разницей между ними является коэффициент усиления. Данный коэффициент крайне важен для тестирования по стандарту МЭК 61000-4-3. Среднее

значение коэффициента усиления для логопериодической антенны составляет от 7 до 8 дБи, однако рупорная антенна с увеличением частоты дает коэффициент усиления до 12 дБи, что полностью не соответствует МЭК 61000-4-3. Более высокое усиление антенны привлекательно, но оно также имеет негативную сторону, т.к. такое усиление сокращает зону тестирования, которую облучает антенна. Другими словами, при использовании высокого усиления требование тихой зоны 1,5 x 1,5 м не может быть соблюдено. С более низким усилением и широким -6 дБ углом логопериодической антенны облучение требуемой площади не является проблемой. Но для более низкого усиления необходимо больше мощности для создания антенной требуемого уровня напряженности поля.

И, как мы уже убедились, КСВН на СВЧ-частотах гораздо ниже, поэтому нет причины для приобретения дорогого усилителя класса А и можно ограничиться АВ-классом, который в системе Radifield будет намного ниже по стоимости.

При разработке ЭМС-системы для тестирования на устойчивость постоянно требуется выбор усилителя — и это один из наиболее часто обсуждаемых вопросов среди производителей данного оборудования и пользователей. На первый взгляд кажется, что лучший выбор — это класс А, т.к. мощность уходит в нагрузку и, таким образом, на антенну не влияет увеличение рас-



7 Сравнение традиционной системы и решения RadiField Triple A

согласования. Но данный класс имеет ряд существенных недостатков, и, как видно из предыдущих примеров, далеко не всегда подходит для решения задачи по тестированию на ЭМС. Подробнее о классах усилителей и их конструктивном построении мы расскажем в следующей статье.

Далее рассмотрим уникальное решение, не имеющее аналогов и способное сохранить не только время и деньги, но и сэкономить пространство, уменьшая габариты и стоимость безэховой камеры в целом.

Система RadiField Triple A задает новые стандарты в испытаниях на ЭМС, предлагая следующие преимущества:

- упрощенную систему и подход к тестированию;
- гарантированный уровень электромагнитного поля согласно ГОСТ;
- высокий уровень интеграции, позволяющий самостоятельно создавать гибкую систему;
- значительное снижение стоимости за счет отсутствия необходимости покупки различного дорогостоящего СВЧ-оборудования;
- низкую стоимость владения и обслуживания.

Сравним для примера две конфигурации системы

РИС 6 и РИС 7.

Как видно из схем подключения, сложность организации по тестированию на ЭМС в традиционной системе гораздо выше, а в решении RadiField Triple A исключены



8 Базовое шасси RadiCentre для управления системой RadiField

Т 1

Значения для модульных генераторов

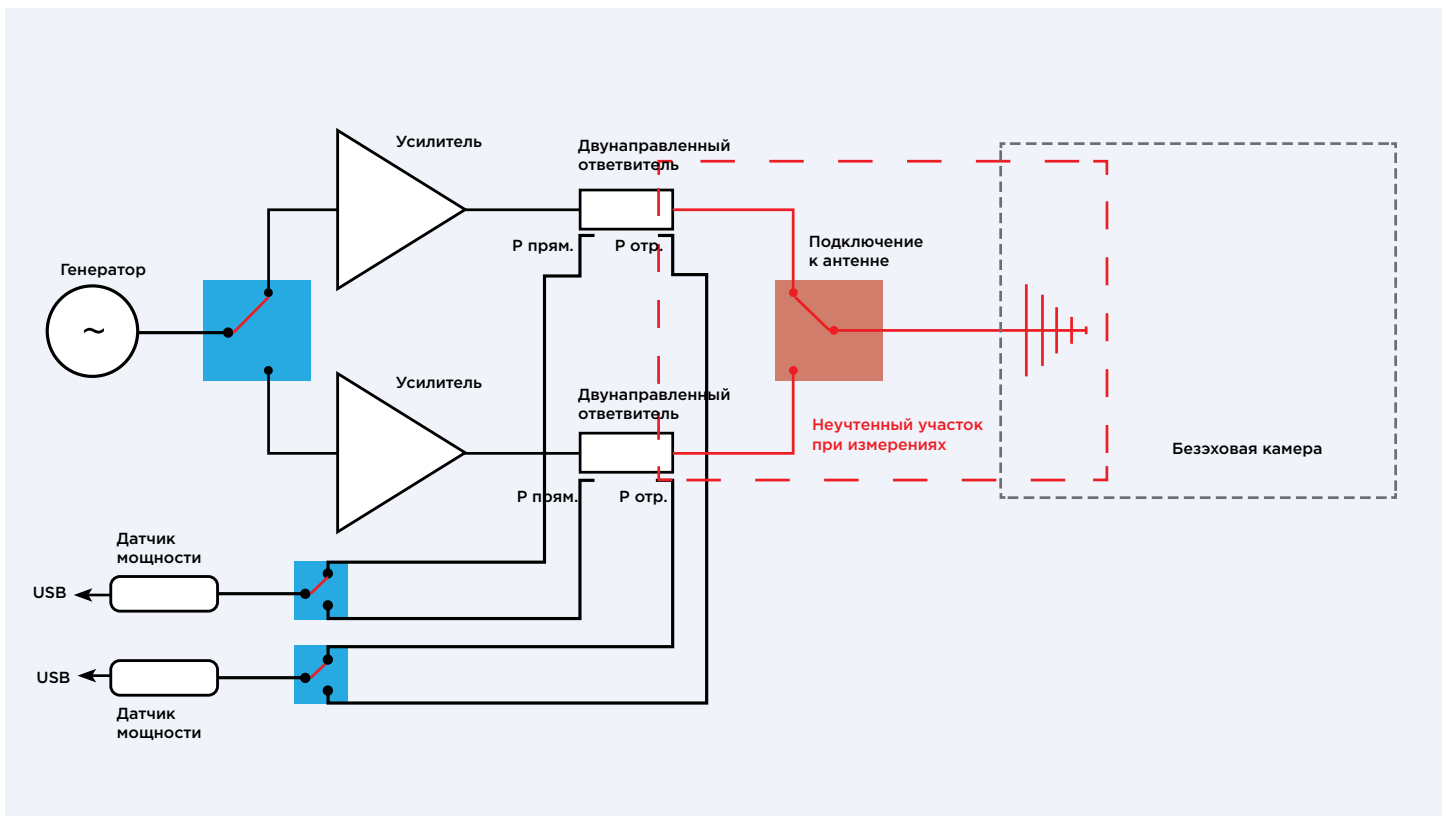
Модель генератора	Частота, ГГц	Тестовая дистанция и уровень поля, В/м		
		1 м	ТМЭ	10 м
RFS1006A	1 - 6	9	3	0,9
RFS1006B	1 - 6	30	10	3
RFS1003A	1 - 3	9	3	1
RFS1003B	1 - 3	30	10	3

основные трудности с согласованием и проведением измерений. Данная система построена на модульной системе RadiCentre, в которую уже включены генератор до 6 ГГц, лазерный модуль для подключения датчика напряженности поля и источник питания с контроллером. В комплексе используются два коаксиальных кабеля, и лишь один из них подключен к источнику питания и к системе RadiField Triple A. Этот кабель используется для питания, контроля, коммутации и передачи РЧ-сигнала. Второй кабель подключен к выходу генератора и входу источника питания. Все потери по кабелю исключены. Все генерируемые РЧ-сигналы напрямую поступают в антенну и преобразуются в электромагнитное поле. Где же найти классическую измерительную систему, в которой дорогостоящие кабельные сборки и генераторы

передают сигнал к антенне на большое расстояние без потерь?

Внешний вид комплекса Radicentre и RadiField Triple A представлен на рис 1 и рис 8.

В системе RadiField Triple A реализована концепция сведения к минимуму времени, которое затрачивается на установку системы и подготовку к работе. Данный комплекс со встроенным генератором и лазерным датчиком поля располагается непосредственно в экранированной операторской камере инженера. Специалист использует при этом только два кабеля, которые подключаются через проходные панели из операторской к безэховой камере. Отсутствие дополнительных кабелей существенно увеличивает скорость переключения и работы измерительного комплекса.



9

Пример ошибки источника сигнала в испытаниях на устойчивость

Т 2

Сравнение системы RadiField и классических систем по количеству используемых устройств

Классические системы	Система RadiField Triple A
<ul style="list-style-type: none"> • Генератор сигналов — 1 шт. • Усилители мощности — 2 шт. • Ответвитель — 2 шт. • Измеритель прямой мощности — 1 шт. • Измеритель отраженной мощности — 1 шт. • Антенна — 1 шт. • Датчик поля — 1 шт. • Кабели и соединители — 6 шт. 	<ul style="list-style-type: none"> • Система Radicentre — 1 шт. • Система RadiField Triple A — 1 шт. • Кабели и соединители — 2 шт.

Кроме времени тестирования важным фактором является и соблюдение стандартов. С системой RadiField определение уровня напряженности ЭМ-поля упрощено максимально возможно. Используется трехметровый эквивалент или ТМЭ, который позволяет просто и легко пересчитать силу ЭМ-поля на другой дистанции с соблюдением правила 3 метров. Строго говоря, при установке нового объекта для тестирования вся настройка сводится к пересчету по формуле: $3 \times \text{ТМЭ}/d$.

Типичные примеры пересчета значение по формуле $3 \times \text{ТМЭ}/d$:

- $10 \text{ В/м} \times 3 / 10$ равно $3,0 \text{ В/м}$ на 10 метрах.
- $10 \text{ В/м} \times 3 / 1$ равно $30,0 \text{ В/м}$ на 1 метре.

Инженерам не нужно беспокоиться об усиленной мощности, усилении антенны и калибровке усиления на разных дистанциях, о потерях в кабеле и частоте и т.д. Достаточно просто задавать необходимый уровень поля в программном обеспечении, дистанцию и частотный диапазон **Т 1**.

Помимо времени и соблюдения стандартов любому инженеру приходится учитывать погрешность и надежность измерительного оборудования. Необходимо учитывать, что ЭМС-испытания на устойчивость основаны на установке тестируемого устройства в уже откалиброванное поле. Такая калибровка осуществляется с помощью датчиков напряженности поля в не менее, чем в 16 равноудаленных в пространстве точках однородной зоны. Во время проведения тестирования датчик поля должен быть удален из плоскости измерения, и поле облучает испытуемое устройство с откалиброванными значениями. При проведении процесса калибровки регистрируются значения отношений между измеренными уровнями поля и измеренными уровнями мощности на выходе направленного ответвителя, установленного за РЧ-усилителем мощности. Также во время тестирования после удаления датчика поля из безэховой камеры измерительное программное обеспечение «проигрывает» записанные уровни мощности, используя показания с направленного ответвителя в прямом и отраженном режимах. Теперь мы имеем измеренный участок от генератора сигналов до направленного ответвителя. Тем не менее, любое изменение уровня поля влечет измене-

ния в значениях потерь в кабеле, потерях на переключении и потерях на соединителях. На **рис 9** красным цветом отмечен участок, который не был измерен, и, таким образом, показания с него не являются достоверными. Поэтому ошибки и погрешности измерения всегда присутствуют при проведении тестирования классическим методом, хотя инженер может даже не подозревать об их присутствии.

В системе RadiField все источники подобного рода ошибок полностью исключены. Облучающая антенна интегрирована с усилителем мощности и направленными ответвителями в одном корпусе, что позволяет устранить все возможные ошибки и проводить достоверные измерения.

Однако несмотря на огромное количество преимуществ, которыми обладает система RadiField, почти всегда самым важным критерием выбора оборудования является стоимость, которая складывается не только из разовой оплаты при размещении заказа, но и из стоимости последующего владения в целом. Если сравнивать классический комплекс на испытания ЭМС-устойчивости и систему RadiField, то общая стоимость системы RadiField будет значительно ниже, чем традиционные аналоги. В **Т 2** приведено сравнение системы RadiField и других систем (которые мало чем отличаются друг от друга, так как должны выполнять требования основного стандарта). Как видно из таблицы, количество устройств в классических системах гораздо больше, чем в системе RadiField, что влечет за собой большое количество проблем с согласованием и эксплуатацией. Не только базовая стоимость системы RadiField значительно ниже аналогов, но и стоимость установки, настройки и обслуживания также гораздо ниже. Помимо меньшего количества устройств, которые собраны и откалиброваны у одного производителя, вы аттестуете один раз всю систему в комплексе и получаете один сертификат вместо нескольких.

Одним из самых важных преимуществ системы RadiField с технической точки зрения является избавление от дополнительных кабельных сборок, которые негативно влияют как на скорость работы с системой, так и на дополнительные погрешности при измерениях. Больше не требуется отдельно подбирать генератор, усилитель или датчик поля — все это уже включено и согласовано в системе. Отсутствие дорогостоящих приборов позволяет значительно сократить стоимость системы в комплексе.

В данной статье мы не затронули один из самых важных инструментов для проведения измерений — безэховую камеру и принципы её построения. Это очень обширная тема для обсуждения, как и тема выбора правильного усилителя. В следующей статье, посвященной испытаниям на ЭМС, мы подробно расскажем о безэховых камерах и классическом подходе к тестированию, а также о новейших разработках, которые появляются в российских лабораториях.

Ни для кого не секрет, что не существует универсальных комплексов, способных удовлетворить потребности абсолютно всех заказчиков. Любой измерительный комплекс имеет ряд недостатков, с которыми приходится мириться. Но в современных реалиях при усложнении оборудования и постоянных требованиях к увеличению функциональности измерительных приборов в конечном итоге пользователь переплачивает за множество ненужных опций, которые по умолчанию заложены в стоимость оборудования. Измерительные приборы, выпускаемые передовыми производителями, в большинстве своем должны работать в широком спектре областей. Чтобы добиться подобной универсальности необходимо увеличивать функциональную и элементную базу. А любое увеличение комплектующих всегда ведет к удорожанию системы даже при массовом производстве. Поэтому необходимо тщательно подходить к покупке столь дорогостоящего оборудования и стараться не вкладывать финансовые средства в избыточные по своему функционалу приборы. При выборе оборудования необходимо, прежде всего, опираться на поставленные задачи, с которыми должен справляться ваш измерительный комплекс, а также понимать принцип подхода к испытаниям, который предлагает вам использовать современный производитель. 