

Тестирование устройств 5G для обеспечения электромагнитной совместимости: потребности и современные возможности

Николай Лемешко (nlem83@mail.ru),
 Дмитрий Богаченков (dmitry.bogachenkov@rohde-schwarz.com)

В статье рассматривается проблема проведения измерений в обеспечение ЭМС для сетей 5G NR. Анализируются особенности предусмотренного для новой радиотехнологии частотного плана и её физического уровня, из которых следуют важнейшие аспекты проведения измерений на ЭМС. Рассмотрены контрольно-измерительные решения компании Rohde&Schwarz, применимые для реализации такого тестирования в несигнальном и сигнальном режимах, в частности тестовая система R&S TS8996, специально предназначенная для тестирования устройств 5G.

Введение

Развитие общества, повышение качества жизни людей и научно-технический прогресс всегда были связаны с увеличением объёмов передаваемой информации. К настоящему времени потребность в автоматизации производственных и транспортных процессов, а также в информационном обмене между индивидуальными абонентскими терминалами (АТ) привели к настоятельной необходимости внедрения сетей беспроводного доступа пятого поколения 5G, которые, обладая некоторыми сходствами с 4G в части кодовых конструкций, в то же время имеют значительные отличия на физическом уровне. Именно по этой причине в литературе, например [1], новую технологию связи обозначают как New Radio (NR), подчёркивая тем самым её революционный характер.

Сферы применения сетей 5G во многом определяются уровнем технического развития конкретных государств, и чем он выше, тем больший охват сети могут иметь. На текущий момент в этом

смысле принято выделять три основных направления (см. рис. 1):

1. расширенный широкополосный мобильный доступ (eMBB) предполагается реализовывать в соответствии с действующими стандартами мобильной связи. Это применение ориентировано на потребителей мультимедийного контента и телекоммуникационных услуг, в том числе в виде передачи больших объёмов данных;

2. обеспечение массового взаимодействия между человеком и техническими средствами, а также между техническими средствами без участия людей (mMTC) направлено на реализацию концепции Интернета вещей (IoT) [2];

3. сверхнадёжная связь с минимальной задержкой (URLCC) предназначена для управления средствами промышленной, транспортной и медицинской автоматизации, узлами информационных сетей.

В сетях 5G будут передаваться беспрецедентно большие объёмы данных при одновременно возрастающей их важности и критичности. При этом частотные планы, разработанные при внедрении 4G в отдельных регионах мира, оказываются несостоятельными, т.к. не предусматривают выделение достаточного для всех названных приложений частотного ресурса. Выходом здесь могло бы стать использование цифровой модуляции высоких порядков, однако такое решение требует заметного повышения мощности передатчиков базовых станций и АТ при одновременном ухудшении электромагнитной обстановки [2]. Это определило переход к активному использованию миллиметрового диапазона

с достаточным частотным ресурсом, которое сопровождается проявлением новых радиофизических эффектов, не свойственных дециметровому и метровому диапазонам длин волн.

Многодиапазонность работы устройств 5G, а также их предполагаемая массовость определяют потребность в развитии методов и средств тестирования, которые отвечали бы современному уровню автоматизации и технического прогресса. В настоящей работе будут рассмотрены решения компании Rohde&Schwarz, предназначенные для проведения такого тестирования для целей обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС).

Особенности частотного плана сетей 5G

Наиболее важные в части частотного планирования отличия сетей 5G от предыдущего поколения цифровой подвижной связи заключаются в широте охвата и количестве потенциальных абонентов, а также в необходимой пропускной способности. Эти особенности привели к невозможности простого заимствования частот у более ранних радиотехнологий, например 3G/4G, и предопределили переход 5G в сантиметровый и миллиметровый диапазоны волн, где имеются свободные полосы частот шириной до нескольких гигагерц. Поэтому уже в первых редакциях спецификации консорциум 3GPP, развивающий технологию 5G, принял решение о поддержке диапазона от 1 до 52,6 ГГц [3]. Использование миллиметрового диапазона сопровождается следующими проблемами:

- затруднено использование широконаправленных антенн из-за значительного увеличения потерь на распространение электромагнитных волн; в ряде случаев требуется применение антенных решёток для формирования диаграмм направленности с узким лучом;
- для частот выше 50 ГГц наличие гидрометеоров, в т.ч. тумана, увеличивает потери на распространение электромагнитных волн на десятки децибел;



Рис.1. Основные направления концепции 5G

- частоты в интервале 55...65 ГГц характеризуются высоким поглощением радионизлучений молекулярным кислородом в составе воздуха с максимумом потерь до 15 дБ/км на частоте 60 ГГц [4];
- радиооборудование миллиметрового диапазона длин волн имеет более высокие фазовые шумы и более низкую выходную мощность;
- использование базовых станций миллиметрового диапазона ограничено вблизи некоторых объектов, например станций спутниковой связи, из-за проблем ЭМС.

Консорциум 3GPP предусматривает гибкое использование полос частот в зависимости от плотности распределения абонентов и их потребностей в трафике. Работа сетей 5G на частотах ниже 6 ГГц, как предполагается, будет использоваться для «низкоскоростной» гарантированной связи, в то время как миллиметровый диапазон будет задействован преимущественно для обеспечения высоких скоростей передачи.

На рисунке 2 графически представлена информация о распределении частотного ресурса для сетей 5G в глобальном масштабе и на региональном уровне. Полоса 3,3...3,6 ГГц была определена МСЭ-R в качестве глобальной. В зависимости от региона мира, в диапазоне частот ниже 6 ГГц для работы сетей 5G дополнительно рассматриваются полосы частот 3,3...4,2 ГГц (США, Япония, Южная Корея, Китай) и 4,4...5,0 ГГц (Китай, Япония и другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона). Для первичной отработки технологии 5G многие страны планируют использовать (либо уже используют) полосу 0,6...0,7 ГГц, которая в дальнейшем может быть задействована для обеспечения связи 5G с подвижными объектами.

По результатам обсуждения на Всемирной конференции радиосвязи МСЭ-R оценил минимальную потребность в частотном ресурсе для 5G на уровне 20 ГГц [5]. Однако в настоящее время выделить такую полосу, в особенности по всему миру, невозможно из-за действующего распределения частот между радиослужбами, в первую очередь в области фиксированной спутниковой связи. По этой причине для сетей 5G на частотах выше 6 ГГц предполагается выделение нескольких полос частот, причём для каждой из них необходимо использовать индивидуальные приёмо-передающие

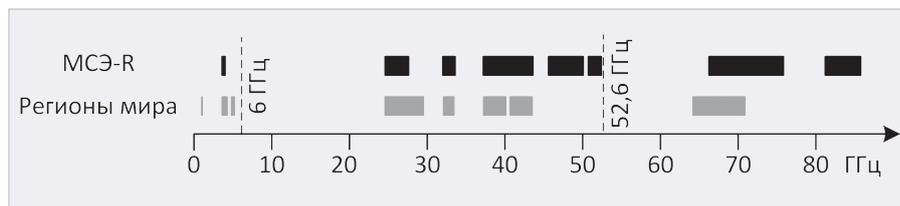


Рис. 2. Глобальное и региональное распределение частотного ресурса для сетей 5G

Таблица 1. Характеристики OFDM-модуляции для 5G (3GPP, rel.15)

Разнос несущих, кГц	15	30	60	120
Диапазон частот, ГГц	0,45...6	0,45...6	0,45...6 24...52,6	24...52,6
Длительность передачи OFDM-символа, мкс	66,67	33,33	16,67	8,33
Длительность циклического префикса, мкс	4,69	2,34	1,17	0,59
Длительность передачи OFDM-символа с циклическим префиксом, мкс	71,35	35,68	17,84	8,91
Максимальная полоса сигнала, МГц	50	100	200	400

устройства. Ввиду того, что загруженность спектра в значительной степени зависит от региона мира и даже от государства, в дополнение к глобальным частотам 5G, выделенным МСЭ-R, некоторые страны рассматривают использование дополнительных полос частот 26,5...29,5 ГГц (США, Южная Корея, Канада), 37...40 ГГц (США, Канада); 64...71 ГГц (Канада). В Европе для сетей 5G планируется использовать диапазоны 31,8...33,4 и 40,5...43,5 ГГц.

Из представленной информации о частотных планах 5G следует, что базовые станции и АТ сетей пятого поколения в перспективе будут работать в существенно отличающихся диапазонах частот, для каждого из которых, возможно, потребуются использовать собственные нормы ЭМС, в т.ч. регионального охвата, в зависимости от характера совмещаемых радиослужб.

В Российской Федерации выделение частот для радиослужб осуществляется Государственной комиссией по радиочастотам. Совсем недавно ГКРЧ принято решение № 20-54-02 [6], согласно которому полосы частот 0,694...0,790; 2,3...2,4; 2,57...2,62; 4,4...4,99; 24,25...27,5 ГГц являются перспективными для построения сетей связи стандарта 5G. При этом для развёртывания сетей 5G в РФ будут использоваться частоты 4,4...4,99 и 24,25...24,65 ГГц, однако приоритет отдаётся последней из них, что идёт в разрез с порядком внедрения 5G в других странах. Использование полосы частот 3,3...4,2 ГГц, применяемой во многих странах на начальном этапе развёртывания, признано ГКРЧ невозможным из-за занятости данного диапазона радиотехническими системами военного назначения и спутниковой

связью. По мнению специалистов, в будущем это может значительно замедлить развёртывание сетей 5G в нашей стране, т.к. для них придётся проектировать специальное оборудование. Дополнительной проблемой является необходимость работ по конверсии спектра для обеспечения всех пользователей радиочастотным ресурсом.

Физический уровень сетей 5G

Ключевыми аспектами физического уровня сетей 5G являются принципы модуляции, организация передачи и приёма в восходящем и нисходящем каналах, а также многоантенная передача и приём. В конечном счёте все они и определяют критерии обеспечения межсистемной ЭМС с другими радиослужбами. Технология 5G во многом повторяет способы передачи информации сетей 4G, но с учётом необходимого их нелинейного масштабирования, а также изменений, определяемых переходом в миллиметровый диапазон.

В сетях 5G планируется использовать сигналы с OFDM-модуляцией, а для несущих будет поддерживаться QPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM, как и в сетях 4G. В восходящих каналах будет поддерживаться $\pi/2$ -BPSK-модуляция для уменьшения отношения пиковой мощности к средней, что повышает эффективность работы усилителей. В будущем номенклатура поддерживаемых схем модуляции может быть расширена для более рационального использования спектра, например, рассматривается вариант применения модуляции 1024QAM для связи между неподвижными точками. Характеристики OFDM-модуляции для 5G в зависимости от диапазона частот представлены в таблице 1.

С учётом значительного влияния многолучёвости, в сетях 5G используется циклический префикс (CP-OFDM) как в восходящих, так и в нисходящих каналах, по крайней мере до частоты 52,6 ГГц, в то время как в технологии 4G циклический префикс используется только для передач по нисходящей линии, а для передачи в обратном направлении применяется модуляция DFTS-OFDM [1]. Как предполагается, после отработки технологии 5G на опытных сетях базовые станции смогут задавать тип передачи данных — CP-OFDM или DFTS-OFDM в зависимости от формируемого пространством канала распространения радиоволн, соответственно, АТ должны поддерживать оба этих варианта. На физическом уровне несущие OFDM передаются группами с объединением по 12 шт., что соответствует одному физическому ресурсному блоку и учитывается при подготовке данных к передаче. Далее ресурсные блоки объединяются в субкадры с длительностью передачи 1 мс, включающие, например, 14 символов OFDM при разносе несущих 15 кГц.

Как следует из таблицы 1, в сетях 5G может применяться модуляция с минимальным разносом несущих, равным 15 кГц, что соответствует стандарту 4G. Масштабирование реализуется с коэффициентом $2n$, где $n = 1, 2$ или 3 в зависимости от диапазона частот. Загрузка циклическим префиксом составляет 7% от физической пропускной способности. Максимальное количество несущих в одном канале для сетей 5G составляет 3300. В перспективе дополнительное повышение пропускной способности может быть достигнуто агрегацией до 16 таких каналов, как это предусматривает 15-е издание спецификации NR.

Для решения проблем межсистемной ЭМС для сетей 4G и 5G предусмотрены некоторые ограничения по использованию крайних несущих сигналов CP-OFDM. Если в первом случае допускается использование до 90% спектрального ресурса каналов, то для 5G, как ожидается, оно составит от 94 до 99% за счёт применения новых, более эффективных технологий фильтрации.

Значительные отличия между 4G и 5G имеются в части использования для приёма и передачи нескольких антенн. Это предусматривалось и в 4G, но для 5G оно имеет фундаментальное значение, поскольку концепция NR раз-

рабатывалась с учётом использования направленного излучения и приёма для достижения приемлемого размера зон покрытия, а также для достижения требуемой пропускной способности с учётом значительного расширения спектра. Использование направленного излучения и приёма позволяет значительно уменьшить необходимую мощность передающих устройств при прочих равных условиях, компенсируя и повышенные потери на распространение радиоволн. При этом управление угловым положением максимума диаграммы направленности должно осуществляться как базовыми станциями, так и абонентскими терминалами, для чего в 5G реализуется передача информации о состоянии канала (CSI, Channel State Information). По этому же принципу передаются широкополосные сообщения, и выполняется первичная идентификация в радиосети. Использование направленного излучения и приёма играет важнейшую роль и в обеспечении ЭМС за счёт ограничения эмиссии по незадействованным направлениям в соответствии с уровнем боковых лепестков, а также уменьшения вероятности дуэльных ситуаций между узлами радиосети.

Использование мультиантенного приёма и передачи (MIMO, Multiple Input Multiple Output) в технологии 4G предусматривалось для повышения спектральной эффективности радиосетей и соответствующего повышения пропускной способности при исчерпании спектра в обычном режиме при большой нагрузке. Учитывая крайнюю ограниченность частотных присвоений в диапазоне ниже 6 ГГц, для 5G технология MIMO сохранена, и во многом этому способствовало развитие цифровых способов управления многоэлементами фазированными антенными решётками с большим количеством элементов [7].

Радиосети 5G предполагают использование кодирования с низкой плотностью контроля чётности, для реализации которого в настоящее время разработаны аппаратные решения на программируемых логических схемах для работы со скоростью до нескольких гигабит в секунду. Для управления физическими каналами используется полярное кодирование, наиболее подходящее для передачи малых объёмов служебной информации. Также технология NR предусматривает сочетание различных видов кодирования для

достижения компромисса между производительностью и достоверностью передачи данных.

Для упрощения установления и поддержания связи между узлами в сетях 5G часть частотно-временного ресурса выделяется для передачи данных так называемых физических каналов, включающих в себя опорные сигналы и другую информацию. В нисходящих и восходящих линиях в сетях 5G реализуются следующие физические каналы:

- нисходящий канал передачи данных (PDSCH);
- канал управления нисходящей линией связи (PDCCH);
- широкополосный канал передачи информации для получения АТ доступа к сети (PBCH);
- восходящий канал передачи данных (PUSCH);
- канал управления восходящей линией связи (PUCCH);
- канал произвольного доступа (PRACH), при помощи которого АТ запрашивают установку соединения с базовыми станциями (БС).

Частотно-временной ресурс, соответствующий физическому уровню 5G, но используемый для передачи информации физических каналов, обычно называют опорными физическими сигналами [1]. Они применяются для обеспечения демодуляции сигналов восходящего и нисходящего направления, для синхронизации и оценки состояния канала передачи. В нисходящей линии 5G используются опорные сигналы демодуляции (DM-RS), отслеживания фазы (PT-RS), информации о состоянии канала (CSI-RS), а также сигналы первичной и вторичной синхронизации (PSS, SSS). Для восходящей линии применяются опорные сигналы демодуляции, отслеживания фазы и зондирующий опорный сигнал (SRS).

Для обеспечения дуплексного режима связи сети 5G поддерживают режимы с временным (TDD) и частотным (FDD) разделением. Принцип реализации дуплексной схемы обычно зависит от диапазона частот, причём на более низких частотах обычно используется FDD, а на более высоких частотах — TDD. Дополнительно NR поддерживает динамическое временное разделение, при котором в случае необходимости изменяется время, отводимое на передачу в восходящей и нисходящей линиях. В этом заключается одно из ключе-

вых улучшений 4G, которое полезно в сценариях с быстрыми изменениями трафика.

Проблема межсистемной ЭМС для сетей 5G и совмещаемые радиослужбы

В классической трактовке проблема межсистемной ЭМС состоит в нежелательном взаимодействии двух и более радиослужб, работающих с использованием излучений электромагнитных волн в эфир. Для каждой конкретной радиослужбы используются специально разработанные критерии сохранения допустимого качества функционирования, которые обычно формулируются в категориях защитных отношений, частотного или пространственного разнесения [3]. Обеспечение межсистемной ЭМС при нежелательном действии помех от устройств 5G для радиоэлектронных средств других радиослужб будет построено на выполнении таких критериев.

Вместе с тем обострению проблем межсистемной ЭМС для сетей 5G способствуют следующие факторы:

1. технология 5G предполагает использование излучения с подвижной диаграммой направленности. Это приводит к формированию нестационарной электромагнитной обстановки и ограничивает использование для её прогнозирования метода гарантированных диаграмм направленности, широко применяемого при частотно-территориальном планировании. Одновременно меняется во времени помехоустойчивость и уровень излучений, формируемых устройствами 5G;

2. за счёт перехода в миллиметровый диапазон размеры зон обслуживания для одиночных базовых станций (БС) будут уменьшаться, а их количество – увеличиваться. С учётом использования широкополосных сигналов, а также того, что БС, обслуживающие соседние зоны, обычно работают с использованием отличающихся частотных присвоений, типы и количество электромагнитно совмещаемых с сетями 5G радиоэлектронных средств будут существенно отличаться от зоны к зоне. Ввиду этого присвоение частот не получится реализовать простым периодическим повторением для охвата заданной области, оно должно быть проработано на основе более глубоко частного анализа.

Таблица 2. Радиослужбы, совмещаемые с радиосредствами сетей 5G

Диапазон частот 5G, ГГц	Совмещаемая радиослужба	Диапазон частот совмещаемой радиослужбы, ГГц
0,694...0,79	Радиовещательная	0,694...0,79
	Воздушная радионавигационная	0,726...0,79
2,3...2,4	Подвижная	2,3...2,45
	Радиолокационная	
	Фиксированная	
2,57...2,62	Подвижная	2,52...2,67
	Радиолокационная	
	Радиовещательная	
	Спутниковая	
4,4...4,99	Подвижная	4,4...4,99
	Фиксированная	4,5...4,8
	Фиксированная спутниковая	
24,25...27,5	Фиксированная	25,25...27,5
	Подвижная	25,5...27
	Космических исследований	

3. для полноценной работы сетей 5G необходима беспрецедентно широкая полоса частот – до нескольких гигагерц. Учитывая территориальную неоднородность использования радиочастотного ресурса, по-видимому, в некоторых случаях новая технология связи будет внедряться на когнитивной основе. Это требует разработки особых критериев обеспечения межсистемной ЭМС для радиоэлектронных средств, совместно использующих одни и те же полосы частот.

Как отмечалось выше, для внедрения радиотехнологии 5G в Российской Федерации ГКРЧ установлены полосы 0,694...0,790; 2,3...2,4; 2,57...2,62; 4,4...4,99 и 24,25...27,5 ГГц. В настоящее время в этих диапазонах возможна работа ряда радиослужб (см. табл. 2), причём почти все они относятся к категории совместного использования радиоэлектронными средствами гражданского и специального назначения либо используются радиосредствами правительственной принадлежности [8]. Межспутниковая радиослужба в таблицу не внесена.

Выработка критериев обеспечения межсистемной ЭМС для радиоэлектронных средств сетей 5G и других радиослужб является одной из первоочередных задач при внедрении новой радиотехнологии. Обычно критерии вначале обосновываются теоретически, а затем уточняются с применением технических средств, например путём измерений в опытных зонах. И для тестирования узлов сетей 5G, и для выработки названных критериев в части воздействия радиопомех на устройства 5G должны использоваться специально предназначенные для этого средства измерений.

Номенклатура и условия измерений параметров, подлежащих контролю в сетях 5G в обеспечение межсистемной ЭМС

Кратко рассмотренные особенности передачи сигналов в сетях 5G позволяют установить необходимость расширения принципов тестирования по ЭМС, применяемых для БС и АТ сетей 4G. В особенности это касается внедрения многоантенных технологий, без которых работа радиосетей в миллиметровом диапазоне, за редкими исключениями, блокируется замираниями. Значительная предельная полоса радиоканалов 5G не позволяет считать передаваемые сигналы узкополосными в привычном для большинства применений понимании и приводит к необходимости применения средств тестирования, в которых эта особенность учтена многопортовой калибровкой. Лучшим вариантом здесь является имитация реальных условий эксплуатации и целостного, а не фрагментарного тестирования. Этой концепции наилучшим образом удовлетворяют специально разработанные измерительные установки.

Классические подходы к обеспечению межсистемной ЭМС предусматривают использование двух разновидностей радиоизмерений, отличающихся по ожидаемому результату и назначению. Первая из них относится к испытаниям АТ и БС, в ходе которых оценивается совокупность характеристик для сопоставления с выработанными нормами, соблюдение которых в совокупности является комплексным критерием обеспечения ЭМС [9]. Вторая разновидность радиоизмерений реали-

зуются в ходе эксплуатации радиосетей при проведении радиоконтроля полномоченными организациями и охватывает те характеристики излучений базовых станций, которые позволяют проверить соблюдение разрешений на использование радиоэлектронных средств. Согласно справочнику по радиоконтролю [7], в типовом случае по излучениям радиопередающих объектов оцениваются напряжённость электромагнитного поля, центральная частота и занимаемая полоса. При этом используются классические подходы к испытаниям, которые должны быть дополнены обеспечением требуемых режимов работы тестируемого узла радиосети. Однако такие понятия, как центральная частота и занимаемая полоса, должны применяться с осторожностью к излучениям 5G, отличающимся высокой нестационарностью спектрального состава.

Совокупность названных спектральных параметров, очевидно, недостаточна для оценки соблюдения ЭМС в сетях 5G, и для её расширения целесообразно обратиться к документам 3GPP, определяющим содержание соответствующих испытаний для БС и АТ. Спецификация [10], действие которой распространяется на БС сетей 5G и работающее совместно с ними вспомогательное оборудование, рассматривает эти технические средства как объекты многопортового подключения. Для них выделяют порты питания постоянного и переменного тока, порты контроля и управления, антенные порты, порты заземления и корпуса. Последний, в соответствии с принятыми в иностранной литературе подходами, определяет помехоустойчивость к электромагнитным полям и их эмиссию в строгом отделении от аналогичных свойств антенных портов. В рамках межсистемной ЭМС испытания БС проводятся на антенных и телекоммуникационных портах.

При тестировании БС конфигурируются для работы в заданном частотном диапазоне и заданной полосе. Для БС формируется особая испытательная среда, включающая канал связи с некоторым ответным устройством, а также измерительные средства, позволяющие оценить качество работы БС, например телекоммуникационные тестеры. Дополнительно создаются условия для предотвращения действия посторонних радиопомех на объект испытаний, и для этого могут использоваться

безэховые камеры, в т.ч. настольного исполнения. В среду испытаний также встраивается источник электромагнитных воздействий, для которых оценивается помехоустойчивость БС.

В качестве мешающих воздействий спецификация [11] предусматривает использование только узкополосных сигналов (с полосой, много меньшей ширины канала). При этом считается допустимым появление узкополосных откликов, проявляющихся в снижении выходных показателей работы БС ниже установленных значений. Их сохранение при отстройке в интервале до удвоенной полосы рабочего канала считается широкополосным откликом, что является недопустимым для БС.

Большая часть испытаний БС проводится при номинальной выходной мощности. Для уменьшения количества варьируемых параметров и упрощения тестовой процедуры спецификация [11] определяет, что БС 5G, предназначенные для работы в одноканальном режиме, испытываются при наиболее узкой рабочей полосе и минимальном разноте несущих; при этом оценивается помехоустойчивость и помехоэмиссия БС в сечении, соответствующем антенным портам. Станции, способные работать одновременно в нескольких каналах, тестируются с разным частотным разнесом несущих. Дополнительно условия тестирования БС по ЭМС конкретизируются спецификациями [10, 12]. Для исключения влияния особенностей передаваемых в канале связи данных на повторяемость и воспроизводимость результатов тестирования их состав устанавливается спецификацией [13].

В качестве критерия обеспечения ЭМС при воздействии помех на антенные порты БС спецификация [11] устанавливает снижение пропускной способности БС не более чем на 5% от значения, соответствующего отсутствию помех в среде передачи. Данный критерий применяется для всех сочетаний полос частот канала, всех разнесов несущих OFDM, а также частотных диапазонов работы сетей 5G. Если БС тестируется в связке с АТ, то допускается двукратное снижение пропускной способности. Для проверки соблюдения этого критерия сигналы, передаваемые в испытательной среде, необходимо обрабатывать с демодуляцией и выделением каналов физического уровня, для чего применяются радиокommunikационные тестеры как сред-

ство наиболее глубокого сигнального анализа.

Таким образом, для БС определяющим условием межсистемной ЭМС, вне зависимости от возможных источников её нарушения, является минимальное ухудшение пропускной способности канала и отсутствие разрывов связи с абонентскими терминалами. При этом важно подчеркнуть, что сложность организации протокола передачи данных в сетях 5G не позволяет осуществить однозначную трансформацию этого критерия в категории частотного, пространственного или временного разнеса [9]. Традиционное понятие защитных отношений здесь также малоприменимо.

Методы испытаний в части межсистемной ЭМС для АТ сетей 5G устанавливаются спецификацией [14] и принципиально не отличаются от аналогичных испытаний для БС. При наличии технической возможности испытательная среда локализуется в коаксиальном либо ином закрытом тракте, и здесь в большей степени целесообразно применение настольных безэховых камер, если учитывать небольшие размеры АТ. Ответное устройство, взаимодействующее при испытаниях с АТ, должно полностью эмулировать функции БС или, по крайней мере, обеспечивать вызов АТ и другие важнейшие функции. В отличие от спецификации [11] на БС, здесь отсутствует явное указание на критерий обеспечения межсистемной ЭМС при наличии внешних помех. Однако допускаемое в [14] распределение снижения производительности при тестировании БС в паре с АТ предполагает сходные критерии обеспечения межсистемной ЭМС. Таким образом, для определения условия сохранения ЭМС при наличии внешних помех, в т.ч. от других радиослужб, следует ориентироваться на снижение скорости обмена между БС и АТ.

Содержание измерений в обеспечении межсистемной ЭМС, проводимых для БС и АТ 5G, определяет предъявляемые к средствам измерений требования, одним из которых является системный уровень тестирования с возможностью оценки качества передачи данных. Второе требование состоит в максимальной автоматизации, не только ускоряющей измерения, но и позволяющей исключить грубые ошибки со стороны пользователей.

Одним из лидеров в части разработки и производства средств измерений

19-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

ChipEXPO-2021

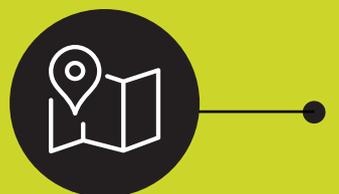
КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ



14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА



СКОЛКОВО



ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
 - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции (Постановление Правительства РФ №878)
 - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (Постановление Правительства РФ №109)
 - экспозицию разработок, обеспечивающих выполнение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Стартапы в электронике
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО» Москва, 121351, ул. Ярцевская, д.4. Тел.: +7 (495) 221-50-15
E-mail: info@chipexpo.ru <http://www.chipexpo.ru>

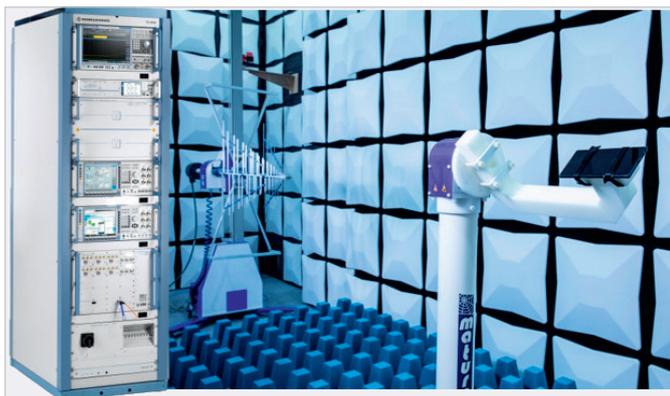


Рис. 3. Внешний вид тестовой системы R&S TS8996, обеспечивающей проведение испытаний устройств 2G/3G/4G/5G/WLAN/BT

и систем для тестирования БС и АТ 5G, отвечающих этим требованиям, является компания Rohde&Schwarz.

Измерительные средства и установки компании Rohde&Schwarz для тестирования устройств 5G по требованиям ЭМС

Среди технических средств, предназначенных для тестирования элементов радиосетей, можно выделить ориентированные на несигнальный и сигнальный (системный) режимы. В несигнальном режиме обычно проверяются качество модуляции, фазовые соотношения для режима MIMO, линейные тракты базовых станций.

Тестирование в несигнальном режиме обычно реализуется в профильных лабораториях для БС с применением универсальных средств измерений, дополненных необходимыми опциями. На системном уровне устройства тестируются целиком в составе эмулированной сети в соответствии с алгоритмами её работы. Компания Rohde&Schwarz разработала ряд контрольно-измерительных решений для обоих уровней.

Тестирование в несигнальном режиме в диапазоне частот FR1 (410...7125 МГц [14]) может быть реализовано с применением осциллографов R&S RTP (полоса до 16 ГГц [15]), в т.ч. в режиме MIMO. В этом случае осциллограф выполняет функции по захвату сигналов, а их анализ осуществляется при помощи программного обеспечения Vector Signal Analyzer, реализующего векторный анализ сигналов 5G на уровне модуляции несущих OFDM (опция R&S VSE-K146 [16]). Результатом такого анализа будут показатели качества модуляции, например MER, дисбаланс сигнального созвездия, смещение по частоте и т.д. Наличие проблем ЭМС также можно

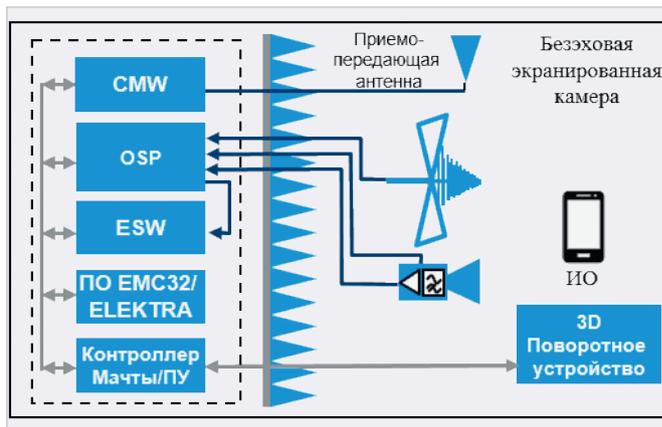


Рис. 4. Структурная схема тестовой системы R&S TS8996

анализировать в несигнальном режиме — они будут проявляться в ухудшении показателей качества модуляции. Аналогичное решение несигнального уровня опционально реализовано на аппаратно-программной платформе анализаторов спектра и сигналов серии R&S FSW [17].

Несмотря на то что универсальные лабораторные средства измерений дают ряд преимуществ при решении типовых измерительных задач, для отладки и тестирования элементов сетей 5G на системном уровне необходимо использовать специализированные автоматизированные тестовые системы (ТС), например R&S TS8996 [18] (см. рис. 3, 4). Основное назначение использования ТС состоит в снижении времени тестирования единичного устройства при одновременном максимальном приближении к условиям эксплуатации испытуемых объектов. В основе такой функциональности системы R&S TS8996 лежит использование измерительных приёмников и радиокommunikационных тестеров передового уровня.

Система R&S TS8996 предназначена для тестирования устройств беспроводной передачи данных в части как обеспечения межсистемной ЭМС, так и эмиссии излучаемых радиопомех (исключая штатные излучения для обеспечения работы радиосети), в т.ч. различных АТ и устройств IoT. Для тестирования устройств 5G в диапазоне FR1 было использовано выработанное для сетей 4G решение с расширением диапазона частот до 7,125 ГГц. В состав ТС (см. рис. 4) входит измерительный приёмник высшего класса R&S ESW44 с опцией R&S ESW-B21, непосредственно используемый для оценки эмиссии в диапазоне частот до 200 ГГц. Поскольку анализ паразитной помехоэмиссии

при сканировании в широком диапазоне частот занимает немало времени (в особенности для полосы от 9 кГц до 1 ГГц при использовании квазипикового детектора), то для R&S ESW разработан специальный режим Fast TDS, отличающийся снижением времени сканирования с использованием квазипикового детектора и одновременно обеспечивающий регистрацию импульсных помех с пониженной частотой повторения — до 10 Гц. При необходимости, измерения такого рода могут быть выполнены в режиме Automatic TDS, при котором настройки сканирования оптимизируются в зависимости от характера помехоэмиссии, и сохраняется соответствие измерительной установки требованиям стандартов группы CISPR 16-1, устанавливающих порядок и условия измерения радиопомех.

Отличительной чертой сетей 5G является фактически глобальный широкий охват диапазонов сантиметровых и миллиметровых волн, что предъявляет особые требования как к измерительному приёмнику, так и к применяемым антеннам. Для перекрытия диапазона FR2 и частот вплоть до 200 ГГц используются специальные приёмные блоки R&S TC-RSE, реализующие перенос сигналов на промежуточную частоту. Тестирование на сигнальном уровне реализуется с применением радиокommunikационного тестера R&S CMX500. При этом для создания сигналов радиосети 5G применяется блок формирования R&S TS-PRE, который обеспечивает регулировку выходной мощности в диапазоне, необходимом для тестирования БС и АТ. Передающие модули R&S TC-MX, а также векторный генератор R&S SMW200A с полосой рабочих частот до 40 ГГц используются для формирования помеховых воздействий.

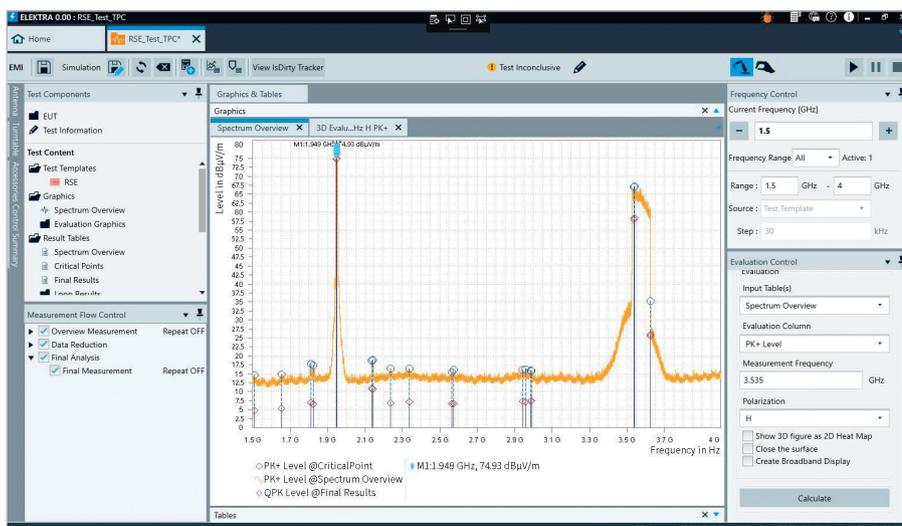


Рис. 5. Интерфейс программной платформы R&S ELEKTRA для управления испытаниями и проведения измерений эмиссии излучаемых радиопомех

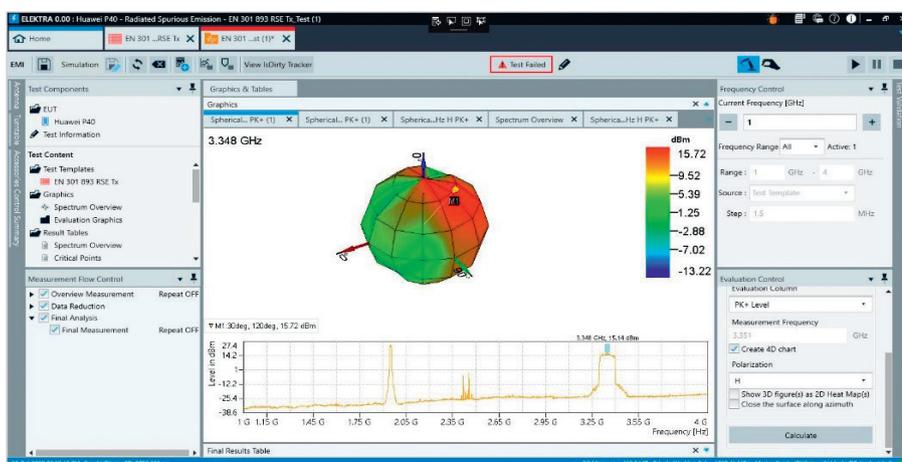


Рис. 6. Форма графического представления результатов измерений диаграмм направленности

ты тестовой системы. Задача измерения формы диаграмм направленности особо актуальна для устройств 5G миллиметрового диапазона [19, 20].

Отдельным вопросом является тестирование устройств 5G в диапазоне FR2, для работы в котором обычно применяются интегрированные антенны. В этом случае для создания испытательной среды могут быть использованы экранированные камеры настольного исполнения, например R&S CMQ200, дополненные радиокommunikационным тестером R&S CMP200 и выносным модулем R&S CMPHEAD30 [21], специально предназначенным для реализации беспроводного подключения, а также другие решения [22, 23].

Заключение

Внедрение технологии радиосвязи 5G NR имеет кардинальные отличия от сетей предыдущего поколения. В первую очередь это определяется потребностью в выделении крайне значительного спектрального ресурса, обусловленного сферами планируемого применения новой технологии и определяющего использование миллиметрового диапазона.

Важной особенностью тестирования в обеспечении ЭМС сетей 5G является необходимость создания тестовой среды, которая качественно имитировала бы реальные условия эксплуатации и не оказывала значимого влияния на передачу радиоволн. Решения компании Rohde&Schwarz с применением безэховых экранированных камер, ориентированные в первую очередь на диапазон частот FR2, позволяют создать закрытые тракты для работы с устройствами 5G без разъемов для подключения антенн, одновременно имитирующие условия свободного пространства.

Что касается межсистемной ЭМС, то, как это следует из обзора спецификаций [10, 16], для БС и АТ критерий ЭМС при воздействии внешних помех состоит в снижении пропускной способности до уровня не ниже 95% от базового значения. По-видимому, в ходе развертывания сетей 5G, в т.ч. и в Российской Федерации, будут сформулированы дополнительные критерии ЭМС в отношении радиоэлектронных средств конкретных радиослужб, что необходимо для частотного планирования и выдачи разрешений на передающие средства 5G. Проведение измерений для оценки соответствия устройств 5G этому и любому другому критерию, сформу-

При необходимости реализуется перенос сигналов на более высокие частоты – вплоть до 200 ГГц.

В схеме измерительной установки, представленной на рисунке 4, в зависимости от текущих задач измерений используются разные конфигурации радиочастотного тракта. Для осуществления переключения радиочастотного тракта предусмотрено использование блока управления R&S OSP220 в комплекте с коммутационными модулями R&S OSB-B153. Специально для тестирования устройств 5G в диапазоне FR1 разработан блок коммутации сигналов повышенной мощности R&S OSP-B155G. Путём замены входящих в состав TC R&S TS8996 модулей она может быть легко модернизирована с увеличением максимальной частоты тестирования.

Проведение испытаний устройств 5G в части обеспечения ЭМС с применением ручного управления исключается их объёмом и сопутствующими затратами

времени. Ввиду этого все технические средства TC R&S TS8996 функционируют под управлением специализированного программного обеспечения R&S ELEKTRA, являющегося одним из наиболее функциональных средств автоматизации проведения стандартизованных и пользовательских испытаний по ЭМС. Для проведения испытаний в описанном выше составе необходимы модули ELEM1-EAS, ELEM1-RSE и ELEM1-5GS (см. рис. 5).

Как отмечалось выше, в сетях 5G предусмотрена реализация управления диаграммами направленности антенн, что необходимо как для компенсации потерь на распространение в свободном пространстве, так и для уменьшения нежелательного взаимодействия через эфир. Для измерения 2D/3D диаграмм направленности, а также различных их сечений применяется модуль ПО ELEKTRA ELEM1-3D (см. рис. 6). Такие измерения доступны во всём частотном диапазоне рабо-

лированному в таких же или близких категориях, на несигнальном уровне невозможно и требует использования радиокоммуникационных тестеров, например R&S CMX500 и R&S CMW500.

Наиболее перспективным решением для тестирования сетей 5G являются комплексные измерительные системы на базе комбинации измерительных приёмников и радиокоммуникационных тестеров, обеспечивающих проведение комплексного тестирования как по помехоэмиссии, так и с эмуляцией работы сети для оценки её производительности. Такая структура ТС является оптимальной с точки зрения задействования модулей переноса по частоте и других элементов радиотракта и позволяет выполнять оба вида испытаний в едином цикле, что ускоряет и упрощает их проведение. При этом функция управления средствами измерений и конфигурирования установки для конкретных видов измерений реализуется модулями ПО R&S ELEKTRA наряду с необходимыми калибровочными процедурами.

Литература

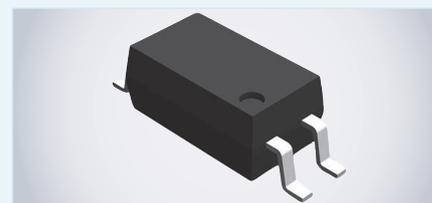
- Zaidi A., Athley F., Medbo J. 5G Physical Layer. Principles, Models and Technology Components. — Academic Press, 2018. — 302 p.
- Гингард С. Интернет вещей: будущее уже здесь. — М.: Альпина Пабlisher, 2016. — 180 с.
- Parkvall S., Dahlman E., Furuskar A., Frenne M., NR: the new 5G radio access technology. - IEEE Communications Standards Magazine (2017, Dec.). — Интернет-ресурс <https://ieeexplore.ieee.org/document/8258595> (дата обращения 07.09.2020).
- Бартенев В.А., Болотов Г.В., Быков В.Л. и др. Спутниковая связь и вещание. 2-е изд. — Под ред. Кантора Л.Я. — М.: Радио и связь, 1997. — 528 с.
- ITU-R, Liaison statement to task group 5/1-spectrum needs and characteristics for the terrestrial component of IMT in the frequency range between 24.25 GHz and 86 GHz. — ITU-R, WP 5D, Doc. TG5.1/36, 2017. — Интернет-ресурс <https://www.itu.int/md/R15-TG5.1-C-0036/es> (дата обращения 07.09.2020).
- Решение ГКРЧ № 20-54-02 «Об определении диапазонов радиочастот для создания сетей связи стандарта 5G/IMT-2020 на территории Российской Федерации». — Протокол заседания № 20-54дсп от 14.04.2020. — Интернет-ресурс <https://digital.gov.ru/documents/7154> (дата обращения 21.07.2020).
- Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне. — Бюро радиосвязи МСЭ, 2002. — Интернет-ресурс https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2005-PDF-R.pdf (дата обращения 07.09.2020).
- Постановление правительства РФ от 21.12.2011 № 1049-34 «Об утверждении таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами РФ и признании утратившими силу некоторых постановлений правительства РФ».
- Бузов А.Л., Быховский М.А., Васехо Н.В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. — Под ред. Быховского М.А. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.
- TS 38.141-1 «3GPP. NR; Base Station (BS) conformance testing Part 1: Conducted conformance testing». — Интернет-ресурс <http://www.3gpp.org> (дата обращения 07.09.2020).
- TS 38.113 «3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) ElectroMagnetic Compatibility (EMC). Rel. 15». — Интернет-ресурс <http://www.3gpp.org> (дата обращения 06.09.2020).
- TS 38.141-2 «3GPP NR; Base Station (BS) conformance testing Part 2: Radiated conformance testing». — Интернет-ресурс <http://www.3gpp.org> (дата обращения 07.09.2020).
- TS 38.104 «3GPP. NR; Base Station (BS) radio transmission and reception». — Интернет-ресурс <http://www.3gpp.org> (дата обращения 07.09.2020).
- TS 38.124 «3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network; NR; ElectroMagnetic Compatibility (EMC) requirements for mobile terminals and ancillary equipment. Rel. 15». — Интернет-ресурс <http://www.3gpp.org> (дата обращения 06.09.2020).
- Осциллографы цифровые R&S RTP. Руководство по эксплуатации. v.01. — 1337.9952.02 — 856 с.
- R&S VSE Vector Signal Explorer Software. Desktop signal analysis. Product Brochure, ver. 09.00. — 3607.1371.12. — 18 p.
- R&S FSW Signal and Spectrum Analyzer. User Manual. — 1173.9411.02-19. — 1163 p.
- Gross T., Kausch J. EMC test solution on the cutting EDGE. — White paper, Version 01.00. — PD 3608.6902.52. — 11 p.
- Young J., Viksted J. 5G Millimeter Wave Devices: The Impact on EMC Compliance Tests. — TESTING & MEASUREMENT, 2019. — P. 67–72.
- 5G New Radio - Fundamentals, Procedures, Testing aspects by Meik Kottkamp. — Интернет ресурс <https://gloris.rohde-schwarz.com/ebooks/5G> (дата обращения 16.12.2020).
- Каталог контрольно-измерительного оборудования компании R&S. — Интернет-ресурс <https://info.rohde-schwarz.ru> (дата обращения 08.09.2020).
- Константинов А. С., Пивак А. В. Решения компании Rohde&Schwarz для тестирования радиочастотного оборудования 5G NR FR1 & FR2 // Компоненты и технологии, 2020. № 10. — С. 94–99.
- Константинов А. С., Пивак А. В. Анализ процедуры тестирования базовых станций на соответствие стандарту 5G NR. Беспроводные технологии, 2020. №2. — С. 40–43. ©

НОВОСТИ МИРА

Мощное фотореле в DIP-корпусе

Toshiba представила фотореле TLP241B в DIP-корпусе, которое может коммутировать токи до 2 А при напряжениях до 100 В. Реле предназначено для замены электромеханических реле промышленного применения. Компания видит применение реле в программируемых логических контроллерах (ПЛК), а также в системах автоматизации зданий, таких

как HVAC (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха). Это первое фотореле на рынке, которое может иметь состояние выхода off-state во всём диапазоне напряжений от 40 до 100 В. В результате оно способно заменить крупногабаритные электромеханические реле. Возможна импульсная работа при токах до 6 А, а также работа при температуре от –40 до +110°C (с понижением напря-



жения). Прибор обеспечивает гальваническую изоляцию 5 кВ.

toshiba.semicon-storage.com



ПАТРОНАЖ ТПП РФ

21-23

СЕНТЯБРЯ 2020

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

Radel

XX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА
- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



Реклама

radelexpo.ru (812) 777-04-07

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



FarEXPO | **FE**[®]
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER