

Выбор современных методов измерения параметров антенн устройств связи пятого поколения и активных антенн (АФАР, ЦАР)

А. В. Кривов
ООО «Радиолайн»
Москва, Россия
krivov@radiorf.ru

М. В. Мулминов
ООО «Радиолайн»
Санкт-Петербург, Россия
mulminov@radiorf.ru

Аннотация: В данном докладе рассмотрены основные и наиболее актуальные методы измерения современных антенных устройств, освоенные и применяемые в практике компанией Радиолайн – в основном речь пойдет о методах для тестирования антенн в системах 5G и АФАР/ЦАР.

Ключевые слова: антенные измерения, коллиматорный метод, метод ближнего поля

I. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире антенная тематика вновь набирает популярность в связи с развитием новых технологий связи 5G. В аэрокосмической и оборонной сфере все большее развитие получают АФАР и ЦАР, что приводит к необходимости развития измерительных комплексов в части синхронизации с тестируемым антенным устройством. В связи с этим необходимо выбирать наиболее подходящий метод измерения и конфигурацию комплекса для измерения параметров антенн. В докладе будут рассмотрены основные методы измерения параметров антенн исходя из различных типов и областей применения антенн.

II. ИЗМЕРЕНИЕ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ СВЯЗИ (5G)

Основными устройствами, требующими проведения антенных измерений (измерений по воздушному каналу (ОТА)) являются датчики, смартфоны, ноутбуки и другие носимые устройства. Выпуск подобных устройств и процедура их тестирования регулируется стандартом 3GPP. Для сетей 4G требования для измерения диаграмм направленности и многих других параметров по воздушному каналу для данных устройств не предъявлялись. К устройствам 5G в стандарте 3GPP появились обязательные требования проведения ОТА тестирования, что повлекло увеличение количества комплексов тестирования антенн.

В связи с тем, что устройства связи 5G являются активными (формирование диаграмм направленности является управляемым с помощью аналоговых или цифровых систем) измерения методом ближнего поля являются затруднительными. Это связано с необходимостью измерения фазы передающего и приемного сигнала для точного восстановления диаграммы направленности. Использование опорной антенны может решить проблему для некоторых типов тестирования, однако зачастую ее применение невозможно ввиду конфигурации измерительного стенда, в частности кинематической модели. В связи с этим стандарт 3GPP в новой редакции исключил возможность тестирования методом ближнего поля антенн с апертурой более 5 см. По сути, единственными устройствами, которые могут быть измерены в соответствии со стандартом, являются датчики. Все остальные устройства должны быть измерены в дальней зоне или коллиматорным методом. Ввиду высокой частоты (более 3,5 ГГц диапазон FR1 и более 24 ГГц диапазон FR2). Наиболее предпочтительным является коллиматорный метод (CATR), при соблюдении ряда важных требований к коллиматорной системе, а именно:

- соблюдение компактных размеров камеры
- применение коллиматоров с закругленными краями для формирования высокого качества тихой зоны.

Производимые сейчас коллиматоры такого типа позволяют обеспечить в тихой зоне амплитудную неравномерность вне более 0,5 дБ и фазовую неравномерность не более 8 градусов в частотном диапазоне до 110 ГГц. Это достигается за счёт прецизионной фрезеровки поверхности коллиматора с точность 15 мкм/м.

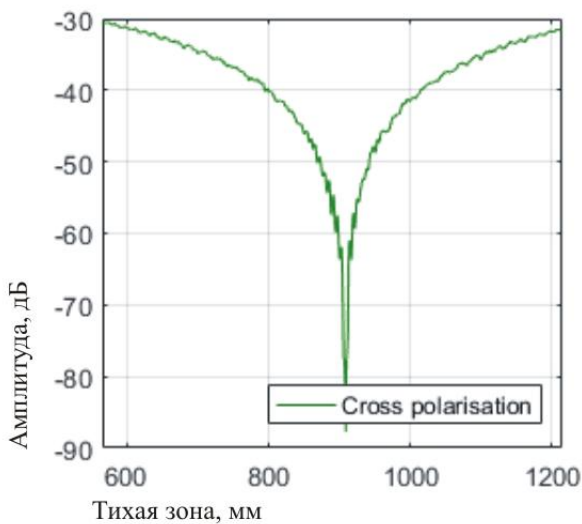
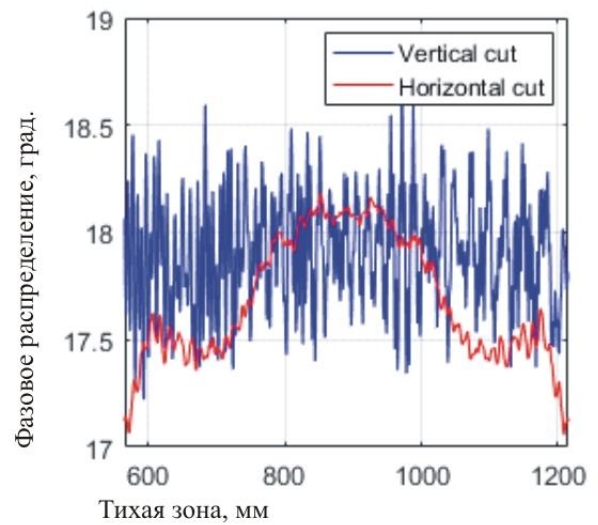
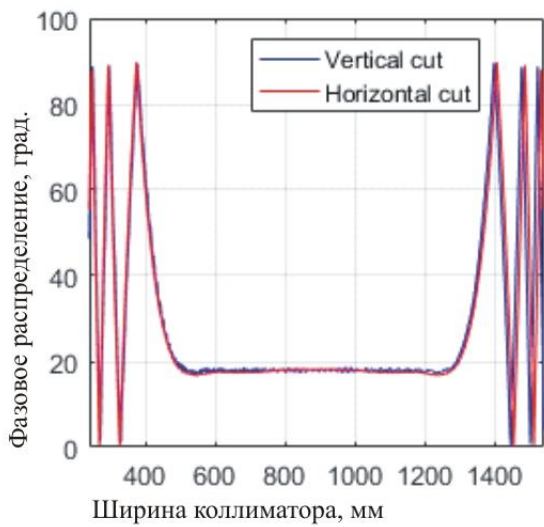
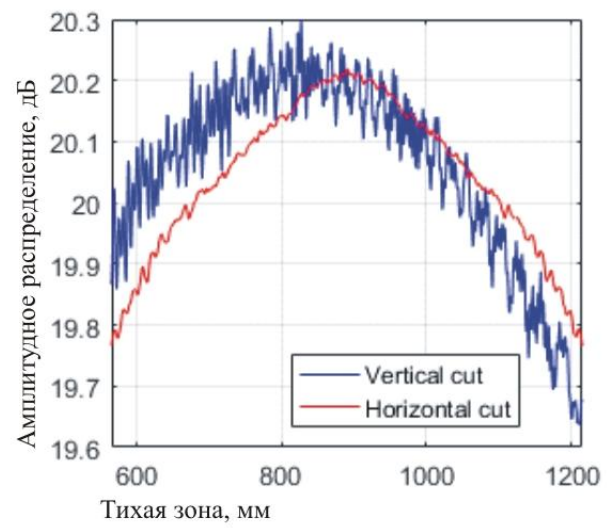
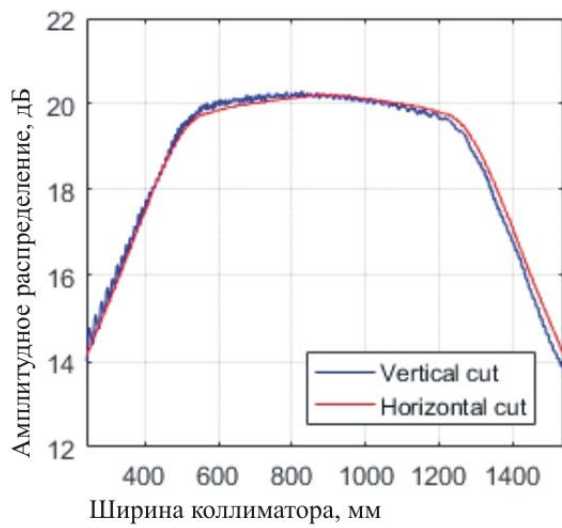


Рис. 1. Комбинированный комплекс для тестирования антенн 5G разработанный компанией Радиолайн: амплитудно-фазовое распределение в тихой зоне коллиматора, частота – 110 ГГц

Другим типом устройств, требующим обязательного тестирования, являются базовые станции. На них также распространяется стандарт 3GPP. Измерение базовых станций должно быть проведено методом дальнего поля или коллиматорным методом. Ввиду крупных размеров базовых станций коллиматорный метод является наиболее предпочтительным. Особенность комплексов

тестирования базовых станций является работа в широком частотном диапазоне от 3 до 110 (в перспективе 220 ГГц). Это связано с необходимостью покрытия частот FR1, FR2, а также измерения уровней внеполосных и гармонических сигналов (до 5-й гармоники). Это накладывает особые требования на точность изготовления коллиматора и его форму.

Индустриальным стандартом является коллиматор с точностью изготовления поверхности 30 мкм (СКО) и форма с закругленными краями, как наиболее подходящая для частот выше 4 ГГц. Коллиматоры с зубцами более предпочтительны для нижних частотных диапазонов (1–4 ГГц). Также коллиматоры с зубцами крупнее примерно на 30% по своим размерам по сравнению с закругленными, что существенно удорожает камеру. В большинстве случаев антенны базовых станций имеют прямоугольную апертуру. Специально для таких типов антенн компания Радиолайн разработала и внедрила у заказчика в Финляндии комплекс с несимметричным коллиматором с закругленными краями, а также позиционером «ВВQ-типа» с возможностью выезда за пределы безэховой камеры для установки базовой станции.

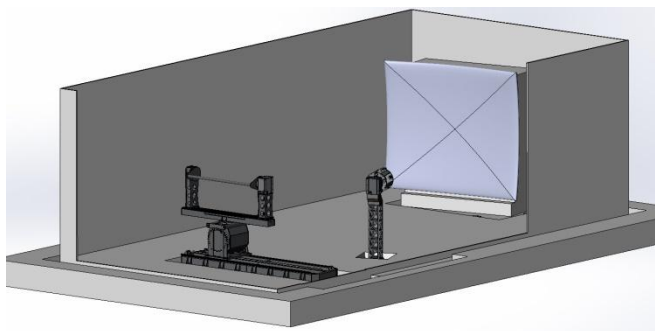


Рис. 2. Комплекс тестирования базовых станций

III. ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ АНТЕНН (АФАР, ЦАР)

Для измерения активных устройств с аналоговым входом/выходом антенны (например, АФАР) уже на протяжении многих лет активно применяются системы ближнего поля, дальнего поля и коллиматорные комплексы. Все методы имеют свои преимущества и недостатки.

Метод дальнего поля наиболее традиционный, но при этом наиболее сложный в плане инфраструктуры. Как правило, все активные антенны работают на высоких частотах и имеют крупные размеры. В связи с этим выполнение критерия дальней зоны в БЭК труднодостижимо или экономически нецелесообразно. Выполнение критериев дальней зоны зачастую выполняется на открытых полигонах. Полигоны требуют наличия возвышенности, работы поворотного устройства в уличных условиях, жесткого крепления вспомогательной антенны. При наличии ветра вспомогательная антенна может менять свое направление, что может существенно сказываться на колебании сигнала, приводя к амплитудной и фазовой ошибке измерений. Ветровая нагрузка также может вносить погрешность в угловое позиционирование поворотного устройства измеряемой антенны из-за существенной площади антенны и ее вращения по отношению к ветру, приводя к скручиванию самого изделия и поворотного устройства. В связи с этим рекомендуется экранировать от ветра область измеряемой антенны, а также вспомогательной антенны.

Коллиматорный метод измерения АФАР применим, но встречается не так часто ввиду существенной зависимости стоимости коллиматорного комплекса от размера формируемой тихой зоны. Тихая зона должна превышать размеры апертуры измеряемой антенны, поэтому данный метод применяется, как правило, для антенн размером менее 1,5–2 м.

Наиболее популярным методом измерения АФАР является метод ближнего поля, а именно планарное сканирование (сканирование по плоскости апертуры антенны на расстоянии нескольких длин волн). Преимущества планарного сканирования:

- Данный метод не столь требователен к качеству безэховой камеры, поскольку основное излучение сосредоточено в плоскости сканирования.
- Размеры БЭК существенно меньше, чем для реализации дальнего поля или коллиматорного метода.
- Планарное сканирование позволяет провести проекцию на апертуру антенны, что удобно для проведения диагностики активных элементов решетки.

Однако планарный метод имеет свои ограничения и недостатки:

- Планарное сканирование дает наиболее точные результаты при условии точного измерения амплитуды и фазы. Это накладывает требования по стабильности температуры внутри помещения, особенно для крупногабаритных сканеров (более 4x4 м), поскольку ввиду тепловых расширений длины СВЧ кабелей будут изменяться, а также плоскостность сканера может ухудшаться. Это приводит к фазовым ошибкам при измерении амплитудно-фазового распределения (АФР), что приводит к снижению точности измерения диаграмм направленности. Измерение крупных антенн может занимать более 24 часов непрерывного цикла, в течение которого фаза в тракте должна изменяться минимально (рекомендуется в пределах до 5 град).
- Сектор достоверного восстановления диаграмм ± 60 град. Коэффициент усиления (КУ) измеряемых антенн должен быть более 20 дБ. Это накладывает ограничения на типы измеряемых антенн. Для АФАР это редко является проблемой ввиду большего КУ и узкого луча.

Компания Радиолайн выпускает сканеры с термосимметричной конструкцией и абсолютными оптическими системами отсчета, что позволяет достигать лучших характеристик по плоскостности даже в условиях колебания температуры. Также мы предлагаем использовать термостабильные СВЧ кабельные сборки с системами калибровки и/или системами обратной связи для снижения влияния температурных эффектов на СВЧ кабельный тракт.

При измерении ЦАР на планарном сканере возникает вопрос о способах получения фазовой информации контрольного сигнала. Дело в том, что при измерении антенн с СВЧ вх/вых, в качестве опорного канала выступает либо внешний генератор, подключенный к векторному анализатору цепей, либо внутренний генератор векторного анализатора. В случае измерения ЦАР этот опорный сигнал должен генерироваться внутри самой антенны, т. к. ЦАР имеет свои внутренние часы оцифровщика, а измерительные приборы – свои. Если ничего не предпринять, фаза контрольного сигнала будет «плыть» с течением времени.

В связи с вышесказанным, измерения ЦАР на прием и передачу имеют свои особенности. Выделим из них ключевые. При работе на прием, ЦАР должна иметь вход опорного СВЧ сигнала, относительно которого определяется фаза преобразованного в «цифру» принятого ЦАР контрольного сигнала с антенны-зонда сканера. Этот опорный сигнал поступает с генератора векторного анализатора и оцифровывается внутри самой ЦАР. При работе на передачу ЦАР должна иметь возможность каким-то образом отправить СВЧ сигнал, сгенерированный ЦАР на передачу, на вход измерительного прибора, этот сигнал будет являться опорным для контрольного сигнала с антенны-зонда, принятым измерительным прибором на второй вход. Этот опорный сигнал может быть получен от ЦАР, например, реализацией специального СВЧ выхода, имитирующего канал ЦАР без излучателя.

Как мы видим, задача измерения РТХ налагает дополнительные требования к программно-аппаратной части ЦАР. Несмотря на то, что большую часть дополнительной цифровой обработки можно реализовать в отдельном от ЦАР устройстве, коммуникация между Заказчиком измерений и Исполнителем на этапе разработки ЦАР остается необходимой, так как в ЦАР должны быть заранее заложены требуемые для измерений средства.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ни один из рассмотренных в данном докладе методов не является абсолютно универсальным для решения всего спектра задач измерений в современной антенной технике, и их применение требует взвешенного подхода к каждой конкретной задаче, но их правильный выбор позволяет с наилучшими точностями решать измерительные задачи при разработке и серийном выпуске многоканальных антенных систем, с оптимальным балансом затрат и достижимых точностей. Это справедливо и для перспективных антенных радиофотонных ЦАР. Важным является выбор подхода к тестированию антенных систем на ранних этапах разработки и созданием всего комплекса антенных измерений, включая средства отладки и синхронизации в самих тестируемых антеннах, средства позиционирования, облучения и приема, а также программных средств обработки.

Автоматизированные измерительно-вычислительные комплексы, которые разрабатывает и создает компания Радиолайн, как раз и создаются с учетом всех вышесказанных требований и способны решать самые сложные измерительные задачи.

V. О КОМПАНИИ РАДИОЛАЙН

Компания резидент Сколково и Технополиса Москва. Компания занимается созданием автоматизированных измерительных комплексов для широкого ряда измерительных задач.

Продукция компании включает в себе:

- планарные сканеры для измерений в ближней зоне;
- прецизионные опорно-поворотные устройства;
- программное обеспечение для антенных измерений;
- коллиматоры;
- АИВК для тестирования параметров антенн;
- стенды для измерения ЭПР;
- стенды для тестирования спутниковых ретрансляторов, приема-передающих модулей.

Оборудование производится в РФ (Технополис Москва), в собственном цеху площадью 2000 м², включающим участки резки металла, сварки, термообработки, фрезеровки, порошковой окраски и сборки. Это существенно сокращает сроки поставки и минимизирует сроки проведения технического обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Rodriguez V. Anechoic Range Design for Electromagnetic Measurements. Artech House. 2019.
- [2] Foegelle M. MIMO Device Performance Measurements in a Wireless Environment.
- [3] Guide to Antenna Tests and OTA Measurements, Elite Electronics Engineering, 2018.
- [4] Вишневыи В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера. 2005.