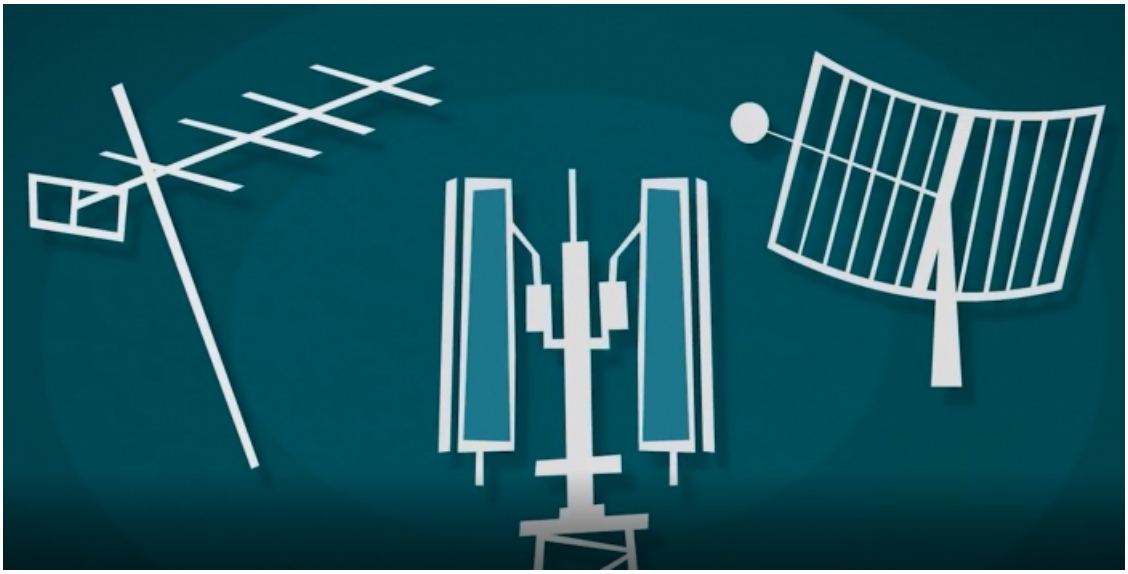
Что вы знаете про антенны в вашем смартфоне?

В современных беспроводных устройствах может быть установлена просто куча антенн для LTE, GPS, Wi-Fi, NFC. И не только. Иногда даже по несколько штук на каждую перечисленную технологию. Из этой статьи вы узнаете о том, какие в ваших смартфонах установлены антенны, какую конструкцию они имеют и как работают.

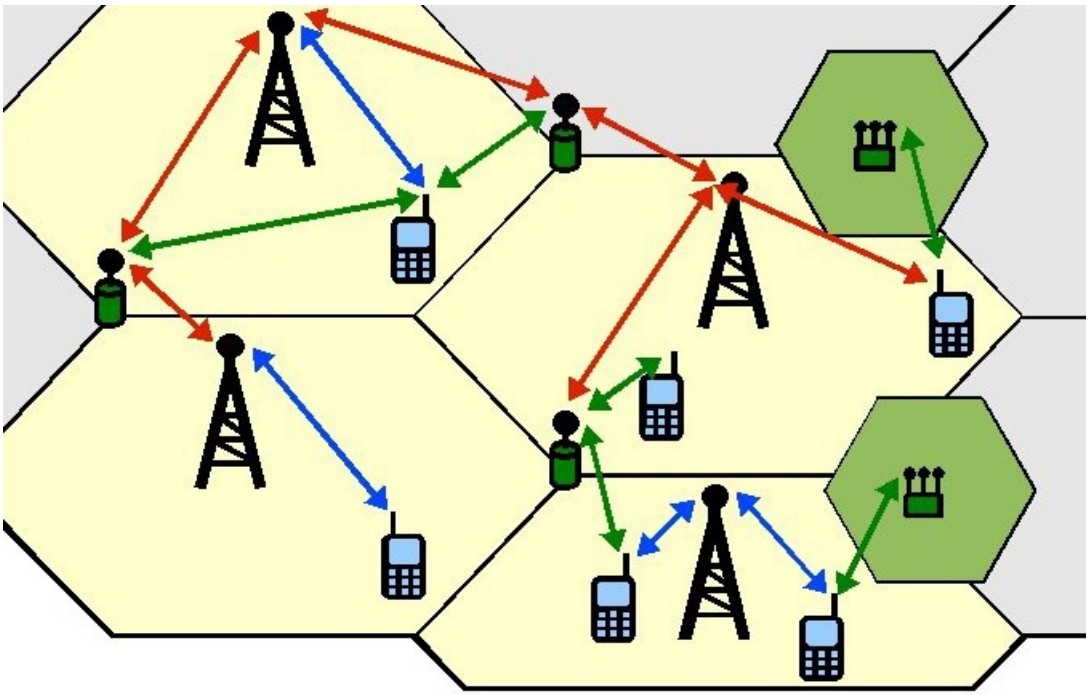
В каждом телефоне есть антенна

Как утверждали в одном авторитетном источнике, антенны бывают "такие, такие и такие":



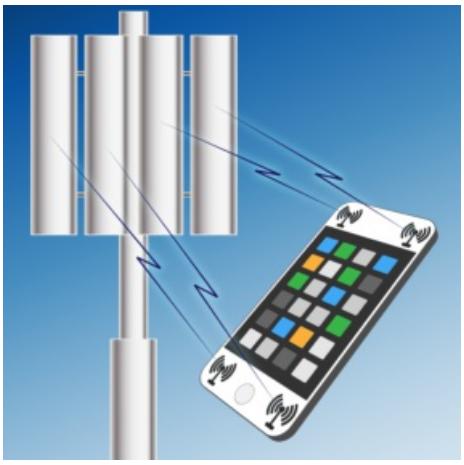
Еще в 2014 году число абонентов мобильной связи во всем мире было соизмеримо с населением планеты и оценивалось примерно в 7 миллиардов, а это значит, что мобильные телефоны стали универсальным и незаменимым инструментом в современной жизни. Сегодня с помощью мобильного телефона можно говорить с кем угодно практически из любой точки земного шара.

В самом простом виде сотовый телефон - это двухстороннее радио, состоящее из радиопередатчика и радиоприемника. Когда происходит вызов по мобильному, телефон преобразует голос в электрический сигнал, который затем передается с помощью радиоволн на ближайшую вышку сотовой связи. Сеть таких вышек передает информацию, закодированную в радиоволне, на мобильный телефон принимающей стороны, который преобразует ее в электрический сигнал, а затем – в звук.



Сотовые телефоны содержат, по меньшей мере, одну антенну для передачи или приема

радиосигналов. Антенна преобразует электрический сигнал в радиоволну (передатчик) и волну в электрический сигнал (приемник). Некоторые сотовые телефоны используют одну антенну в качестве передатчика и приемника, в то время как другие, например iPhone (начиная с 5й серии) и большинство современных смартфонов, имеют несколько передающих или приемных антенн. Технология, при которой используется несколько антенн для передачи и приема называется MIMO (англ.: Multiple Input Multiple Output - множественный вход и множественный выход). Она позволяет передавать данные в несколько потоков, увеличивая, тем самым, качество связи и скорость передачи данных.



Антенна - это металлический элемент (например, медный), сконструированный таким образом, чтобы иметь определенный размер и форму для передачи и приема определенных частот радиоволн. В то время, как сотовые телефоны первых поколений имеют внешние или извлекаемые антенны, современные смартфоны содержат более компактные антенны внутри устройства.

Причина, по которой был произведен отказ от внешних антенн носит комплексный характер:

- Внешняя антенна излучает равномерно во все стороны (как монополь), в том числе в сторону головы человека, совершающего звонок. Поэтому в современных смартфонах используют такую конструкцию антенны, которая позволяет большую часть мощности излучать в противоположную от головы абонента, сторону.
- Конструкция антенн в виде монополя в принципе не позволяла производить развязку между антенными системами. Два "провода" будут оказывать друг на друга сильные помехи. Поэтому антенны стали выполнять в виде печатных плат и интегрировать в корпус. Это же увеличило свободу действий при модификации конструкции антенных систем.
- Вынос внешней антенны за пределы корпуса смартфона не позволяет сделать телефон компактным.

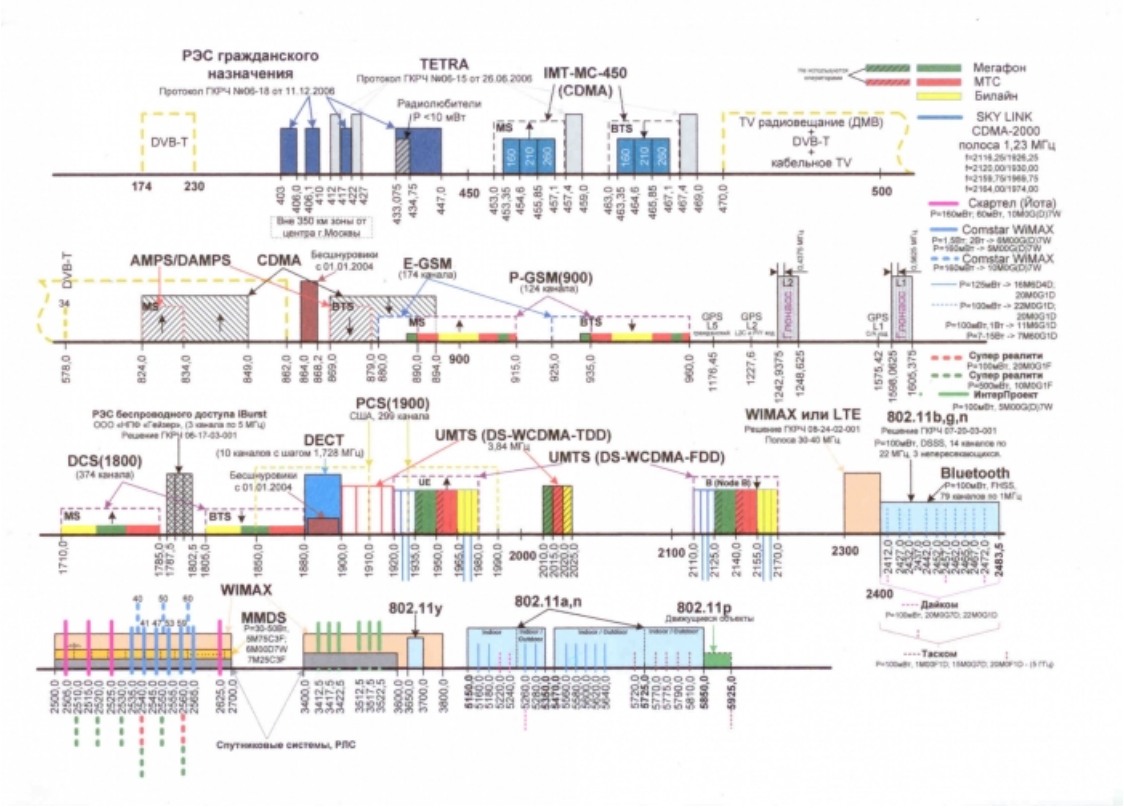
Важно понимать, что любые металлические компоненты устройства, например, печатная плата и

металлический каркас для iPhone, могут взаимодействовать с передающей антенной (или антеннами) и вносить свой вклад в структуру передаваемого сигнала. Так, в каждом телефоне имеется несколько типов антенн:

- первичная сотовая антенна (прием и передача);
- вторичная сотовая антенна (только прием);
- антенна GPS (только прием);
- антенна Wi-Fi (прием или передача);
- NFC-антенна.

Антенны и частоты

В первую очередь следует отметить, что конструкция и размеры антенны зависят от того, на какой частоте она будет работать. Большинство антенн общего пользования стараются сделать такими, чтобы они работали в максимально широкой полосе частот из выбранного диапазона. Ведь на сегодняшний день, используемых частот, как и беспроводных технологий, существует просто колоссальное количество. Разобраться во всех тонкостях мира беспроводной связи - непростая задача. На рисунке ниже, например, приводится распределение по частотному диапазону стандартов мобильной связи в нашей стране.

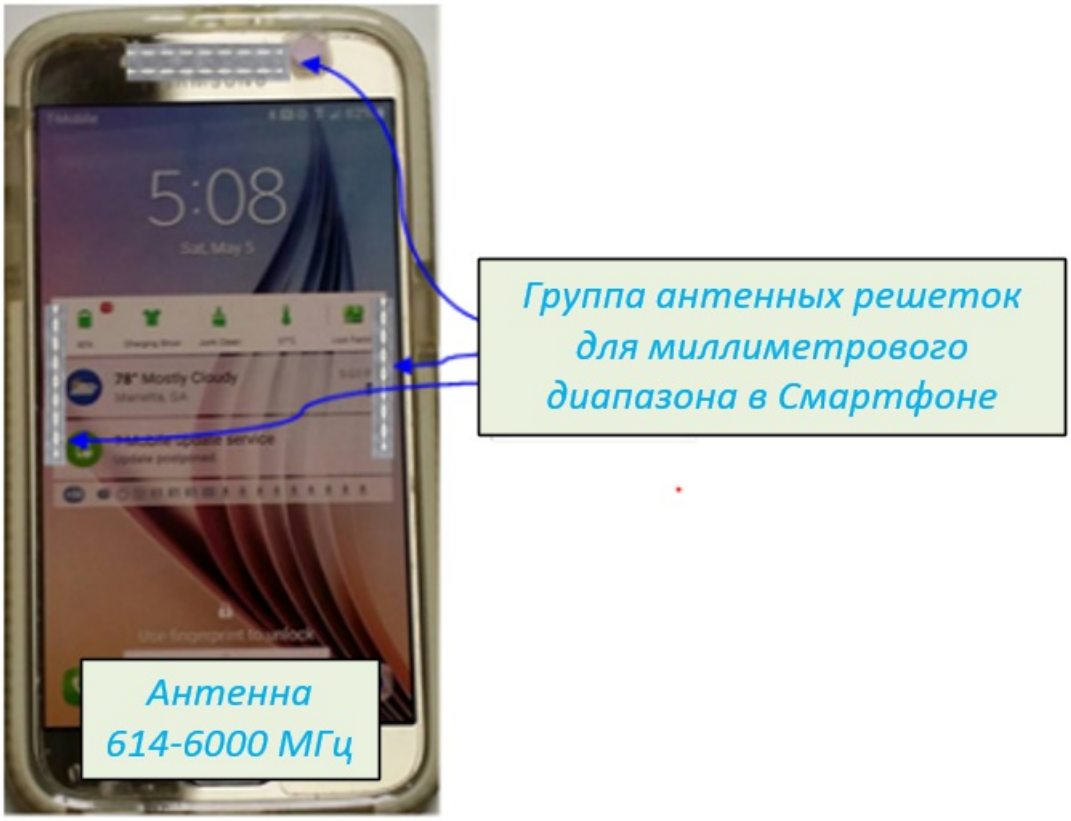


Производители современных смартфонов стремятся сделать антенну широкополосной для всех технологий беспроводной связи: LTE, Wi-Fi, GPS, LTE и Bluetooth.

Первичная сотовая антенна является основной коммуникационной антенной на смартфоне и, следовательно, чрезвычайно важна. Эта антенна берет на себя основные функции передачи данных, поэтому имеет много спецификаций и требований. Она имеет как низкочастотную полосу (где-то между 700 и 960 МГц), так и широкополосную (где-то между 1710 и 2700 МГц). Большинство телефонов поддерживают некоторую комбинацию следующих диапазонов частот / поддиапазонов:

- GSM (2G) - GSM850 (824-894 MHz), GSM900 (890-960), DCS (1710-1880 MHz), PCS (1850-1990);
- UMTS (3G) - 5 полоса (824-894), 8 полоса (890-960), 4 полоса (1710-1880), 2 полоса (1850-1990), 1 полоса (1922-2170);
- LTE (4G) - 17 полоса (704-746), 13 полоса (746-790), 7 полоса (2500-2690).

Количество полос частот увеличивается с каждым годом. Телефон, разработанный для рынка США, может поддерживать только GSM850, PCS, полосу 5 (LTE и UMTS) и полосу 2 (LTE и UMTS). Некоторые компании пытаются разработать мировые телефоны, которые поддерживают все диапазоны, что значительно усложняет конструкцию антенны.



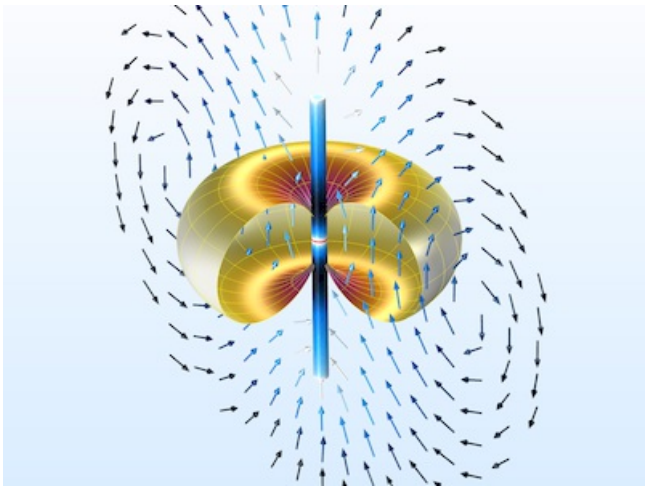
Есть несколько вещей, которые следует отметить в отношении полос частот. Во-первых, многие группы частот перекрываются. Например, GSM850, полоса 5 UMTS и полоса 5 LTE имеют одинаковый частотный диапазон. Следовательно, антенна, которая работает хорошо для одного из этих диапазонов, будет также хорошо работать и для других диапазонов.

Во-вторых, обратите внимание, что частоты для передачи данных обычно являются нижним пределом полосы, а частоты для приема - верхним. Например, для полосы 5 UMTS полоса передачи (Tx) составляет 824–849 МГц, а полоса приема (Rx) составляет 869–894 МГц.

Расположение первичной сотовой антенны почти всегда будет на нижнем или верхнем концах устройства.

Несколько примеров конструкции антенн в смартфонах

Говоря про строение антенны, стоит начать с небольшой теории. Самой простейшей антенной принято считать дипольную:

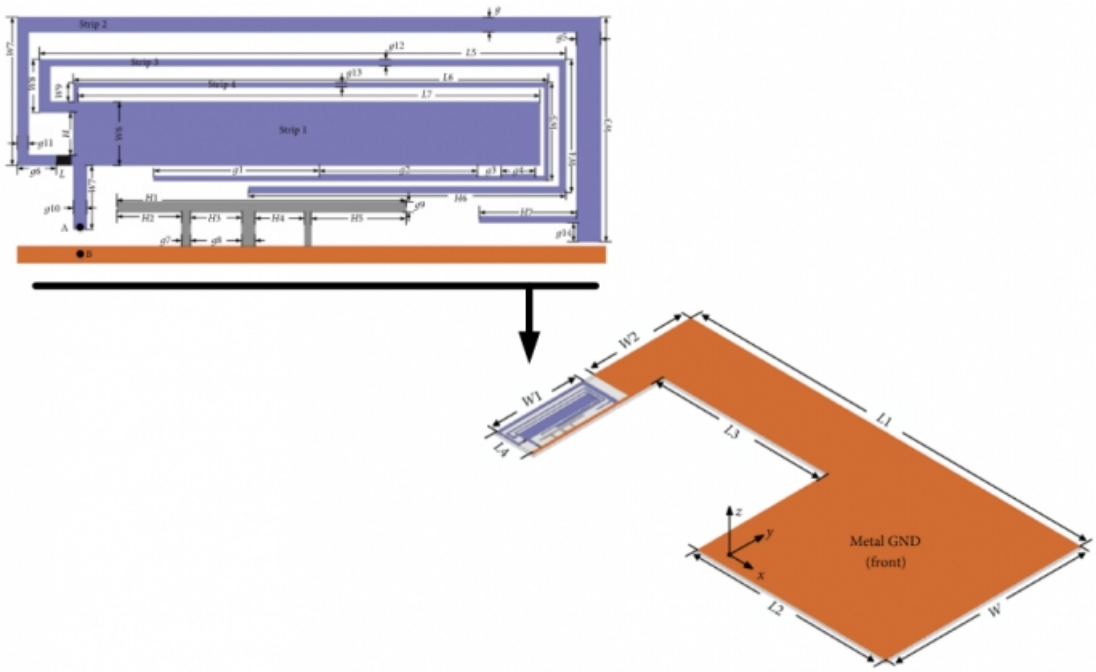


Дипольная антенна должна иметь длину около половины длины волны, чтобы иметь наиболее эффективную диаграмму направленности и, как следствие, ширину полосы рабочих частот. Первое, что необходимо знать - какая самая низкая частота будет выбрана в качестве основной для работы антенны. Это частота будет соответствовать самой большой длине волны, следовательно, поможет нам определить общий размер антенны.

Допустим, наша полоса низких частот составляет около 810 МГц. Длина волны тогда равна ~37 см, поэтому половина длины волны составляет примерно 18,5 см. Как правило, в мобильном телефоне можно разместить антенну длиной около 12-19 сантиметров.

Для эффективного излучения на частотах сотового телефона, антенна должна иметь размер всего устройства. Это означает, что антенна не является изолированным компонентом, она будет использовать всю структуру телефона для наиболее эффективного излучения.

Все антенны современного смартфона имеют сложную геометрию. А с переходом в миллиметровый диапазон 5G сложная геометрия сочетается с крайне минималистичным выполнением таких антенн. Разные элементы этой геометрии подключаются электрическим путем к основной конструкции. Таким образом, происходит изменение диапазона работы антенны. Ниже приведен один из примеров конструкции антенны для смартфона:



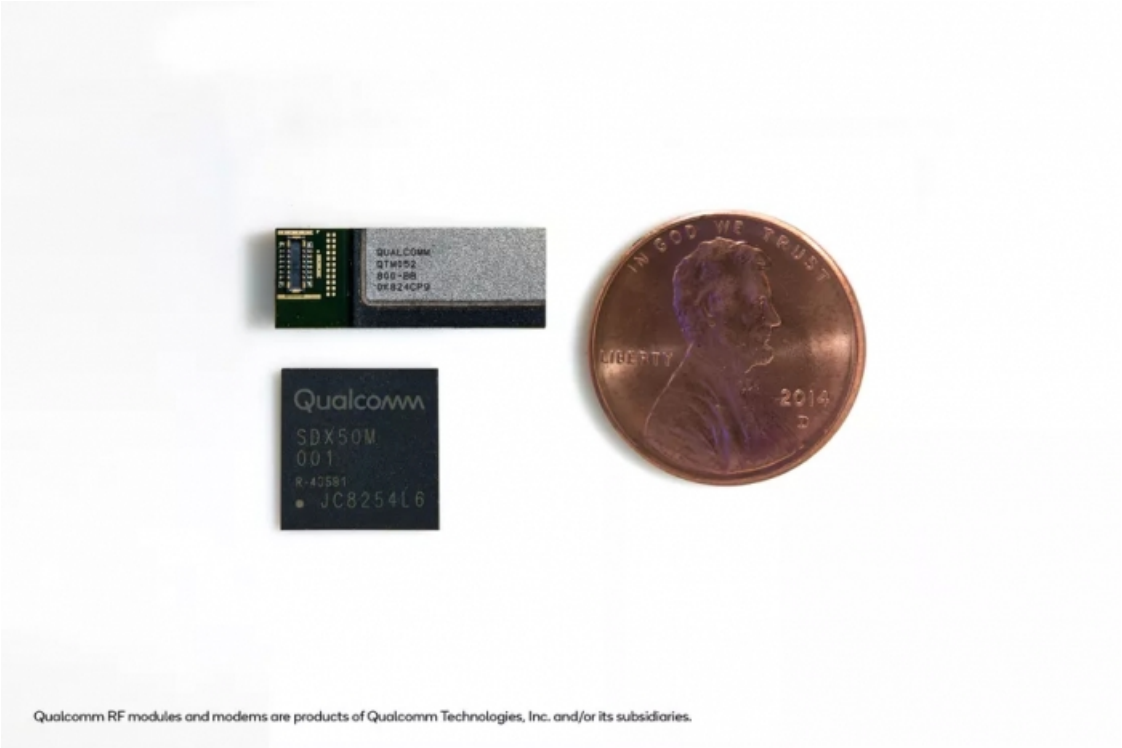
На рисунке показана структура патч-антенны, изготовленной на С-образной подложке FR4 с размерами 120×60 мм. Выбранные размеры всей печатной платы и антенны являются приемлемыми для большинства мобильных телефонов. Антенна состоит из монопольной антенны, соединенной в форме лестницы заземляющей полосы, и индуктора (левая верхняя часть рисунка). Управлять полосой пропускания антенны можно, подключая одну из четырех ветвей. Так, в антенну вносятся резонансные моды в более низкие и более высокие полосы частот. Диапазоны частот для работы такой антенны – 2260 МГц, 2740 МГц и 3450 МГц.

А не так давно на рынке появились первые смартфоны с поддержкой 5G. Более высокая скорость

передачи данных и низкие задержки для взаимодействия в режиме реального времени привлекают все больше и больше пользователей. Данные аспекты позволяют не только транслировать новые форматы видео (360-градусные например), но и расширят спектр предоставляемых услуг, добавив в список: автономное вождение или, скажем, виртуальную и дополненную реальности. И это ещё не полный список возможностей новой технологии.

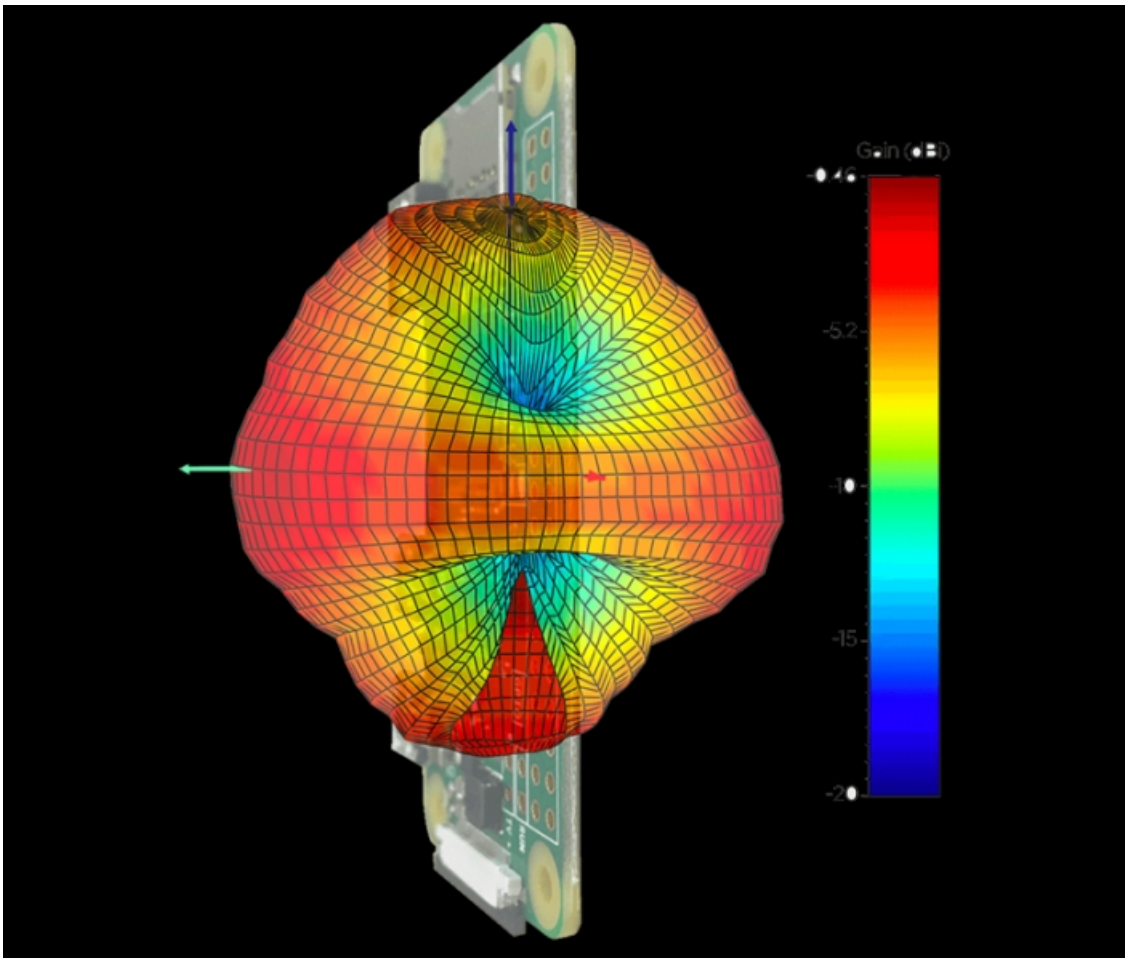
Разработка антенны для 5G еще больше усложнила жизнь инженерам, отвечающим за проектирование. Специалисты говорят об экспоненциальном росте в сложности создания устройств для 5G. Это связано с частотами, используемыми в сетях нового поколения - менее 6 ГГц и свыше 24 ГГц. В первых моделях сотовых телефонов использовались антенны первого типа, т.е. для частот меньше 6 ГГц, но при этом, вопрос о миллиметровых волнах еще не закрыт, ведь именно на данных частотах планируется взаимодействие с "интернетом вещей". Также, ситуацию усугубляет то, что в каждой стране выделен свой конкретный диапазон частот.

Так, например, выглядит 5G-антенна миллиметрового диапазона, разработанная компанией Qualcomm:

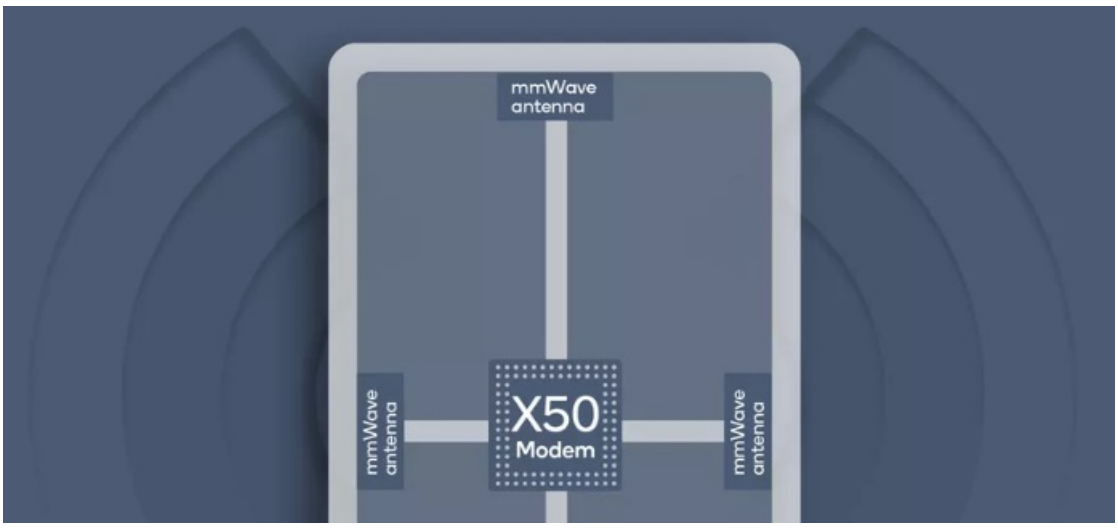


Антенна от Qualcom QTM052 - это крошечная антенная решетка, размером с монету. Она имеет в своем составе четыре антенны, которые с помощью интеллектуальных алгоритмов и технологии Beamforming могут точно направлять сигнал в сторону ближайшей базовой станции 5G.

Выше показано идеализированное изображение беамформинга. Так его рисуют маркетологи. В реалиях же, если визуализировать диаграмму направленности, то система управления лучом формирует некую субстанцию, которая "вытягивается" в сторону лучшего приема.

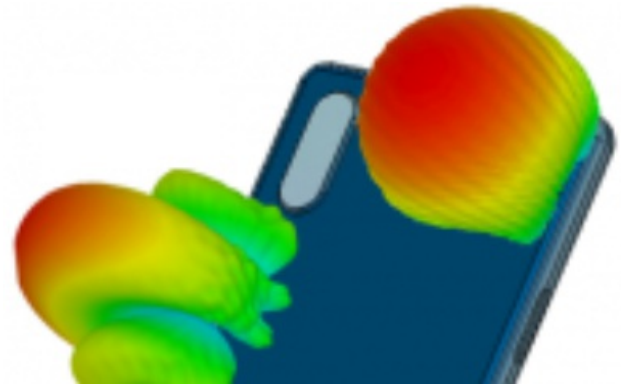


Разработанная антенна достаточно мала, чтобы производители смартфонов могли установить ее в лицевую панель телефона. Модем Qualcomm X50 5G уже рассчитан на установку в системы, поддерживающие до четырех антенных решеток, по одной на каждую сторону телефона. Это позволяет использовать всего 16 антенн и гарантирует, что независимо от того, как вы держите телефон, сигнал не будет заблокирован и останется с достаточно хорошим отношением сигнал-шум (SNR).



Часто антенны в смартфонах строят по разнесенному принципу. Работа разнесенной антенны состоит в том, чтобы попытаться предоставить независимую выборку данных из сигналов, попадающих в зону действия телефона. В этом случае, приемник мобильного телефона обычно выполняет переключенное разнесение (то есть, выбирает принимаемый сигнал с наибольшим количеством энергии) или комбинированное разнесение (для суммирования мощностей двух приемных сотовых антенн).

Учитывая, что сотовые антенны требуют много места, можно заметить, что эти две антенны будут независимыми, но, при этом могут испытывать большие взаимные влияния:



У нас есть две антенны, которые расположены близко друг к другу. Передающая антенна хочет связаться с удаленной системой, а приемная антенна пытается поглотить как можно больше энергии вокруг нее. Любая мощность, поглощаемая этой антенной, является потерей эффективности антенны. Такая же ситуация происходит в обратном порядке. Это означает, что энергия, которая была бы поглощена разнесенной антенной, поглощается основной антенной. Это негативно влияет на производительность.

Тогда стоит максимизировать изоляцию между двумя антеннами. Это сведет к минимуму эффект этой потери. Значения изоляции для смартфонов в нижней полосе частот составляют около 10 дБ, а для высоких частот - 20 дБ.

Чтобы максимизировать изоляцию (а также сделать диаграммы излучения несколько отличными), разнесенная антенна обычно размещается на верхней части смартфона.

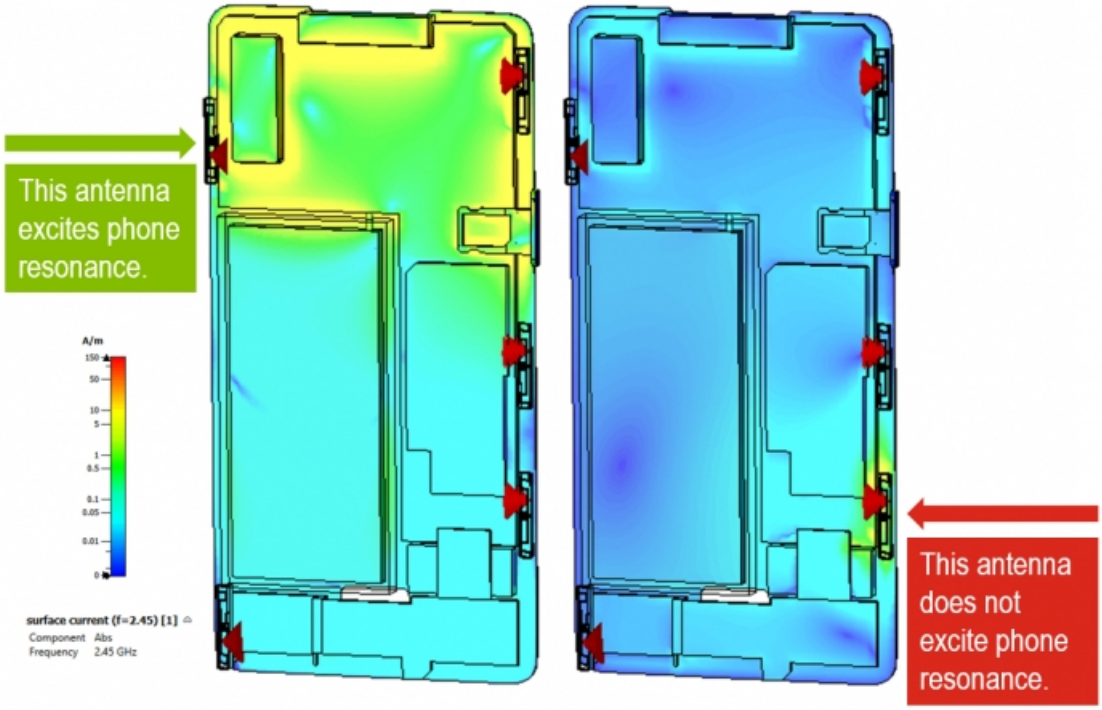
В связи с появлением телефонов для 5G и уходом в миллиметровый диапазон, возникает большая проблема, связанная с быстрым затуханием высокочастотных сигналов. Именно поэтому в смартфонах пятого поколения планируется устанавливать по 3-4 антенных модуля. Использоваться будет тот, который в момент передачи сигнала не блокируется рукой пользователя. Даже на рекламной информации от Qualcomm это отмечено: расположение антенных модулей по периметру всего смартфона.

К чему это приведет, сказать пока сложно. Но, с учетом предъявляемых требований к системам связи пятого поколения, антенным решеткам быть, и от этого никуда не деться.

Особенности размещения антенн в смартфонах

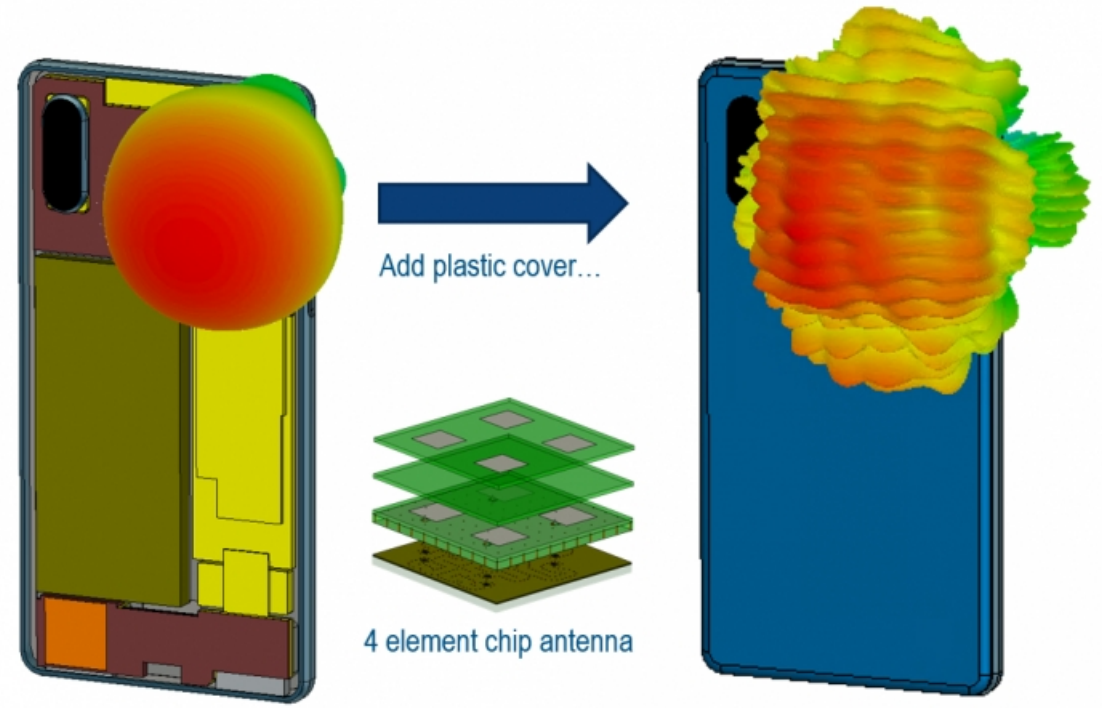
Не стоит забывать и о том, что в каждом мобильном телефоне находятся не только антенны для сотовой связи, Wi-Fi, GPS, но и дополнительно антенны для совместимости с более старыми стандартами связи 4G, 3G и т.д.

Необходимо точно согласовать все антенные устройства между собой, ведь взаимное влияние и перекрестные помехи продолжают делать свою грязную работу и оказывать негативное влияние на систему в целом.



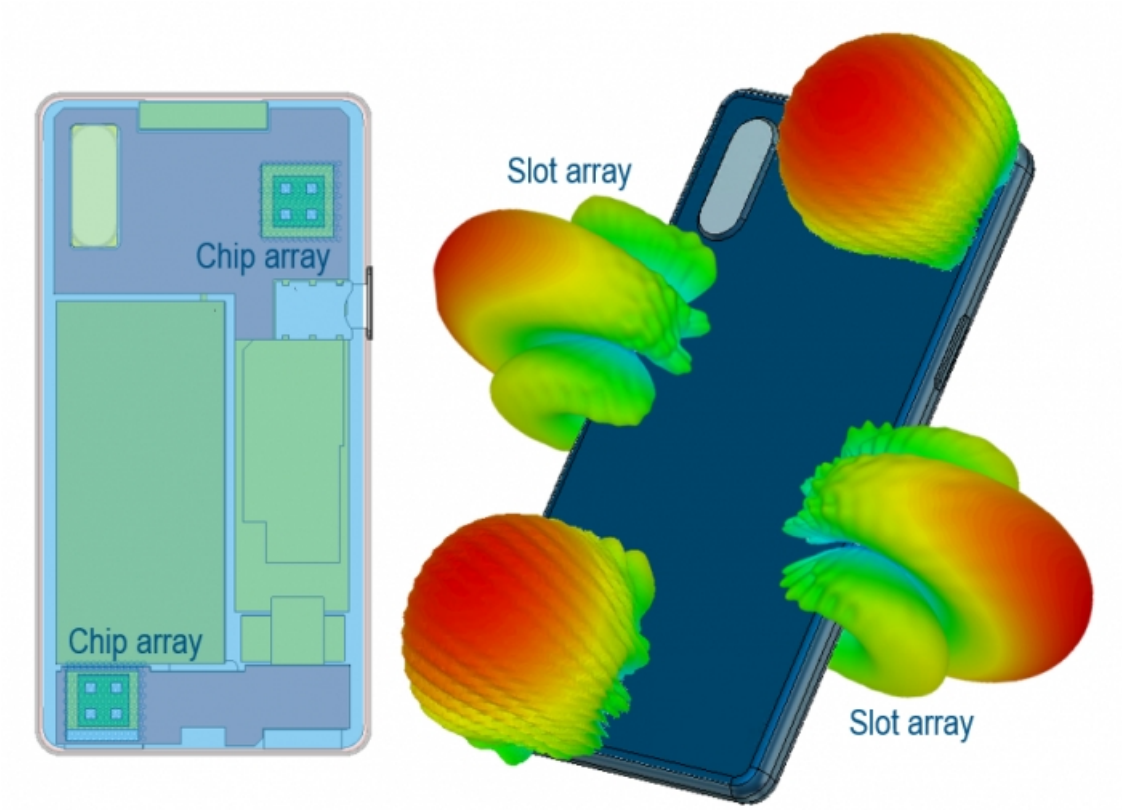
Оптимальное расположение антенн в телефоне,а также относительно друг друга, будет иметь ключевое значение и сказываться на их работе. Изменение положения на несколько миллиметров будет влиять на качество и стабильность связи работающего устройства. Как правило, на этапе тестовых испытаний вносятся коррективы в расположение антенн для обеспечения их оптимальной работы.

Из-за требований к повышению пропускной способности, используются технологии MIMO и Beamforming. Небольшой размер антенны, работающей на частотах более 28 ГГц увеличивает потенциал используемого стека технологий. Благодаря этому, увеличивается коэффициент усиления.



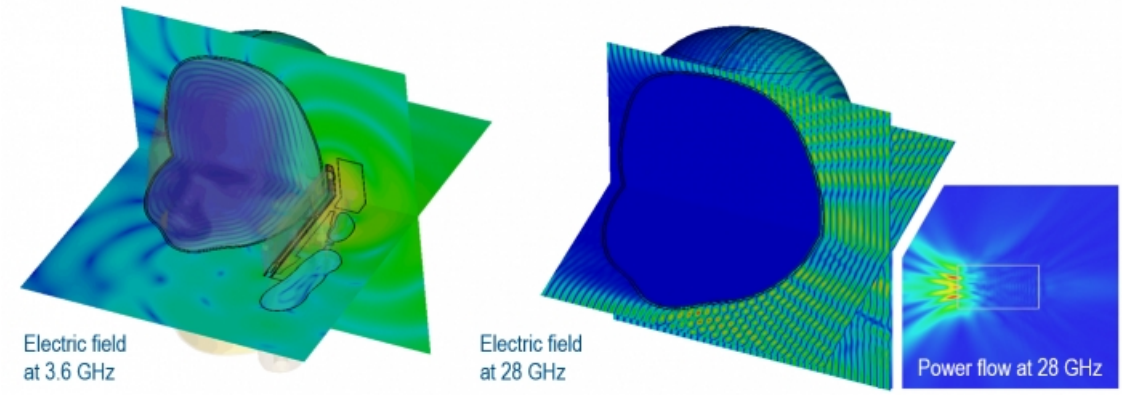
У высокочастотных антенн конструкция не так сильно связана с общей структурой телефона. Однако, большие проблемы возникают при интеграции антенны в устройство, за металлическую крышку. В этих реалиях она уже не является незаметной преградой на пути распространения волны, а оказывает достаточно сильное влияние на характеристики. И здесь нашли применение методы, используемые для проектирования обтекателей в космической промышленности. Крышка разрабатывается таким образом, что в определенном месте образует линзу, что позволяет улучшить диаграмму направленности, а также характеристики сканирования. При этом, данная проблема не настолько серьезна при размещении за стеклянной или пластиковой крышкой.

Другой подход, который также использует малый размер антенны - интеграция конструкций в металлический контур телефона. Это явно продемонстрировано на рисунке ниже.



Не стоит забывать и о безопасности, особенно для устройства, которое человек носит примерно 80% времени в непосредственной близости от тела.

На частотах ниже 6 ГГц для оценки влияния электромагнитного излучения применяются существующие стандарты SAR (Structure–activity relationship). На частотах миллиметровых волн, электромагнитное поле почти не проникает в организм. Большая часть излучения отражается, а то, что проникает внутрь, полностью рассеивается в пределах 3 миллиметров от поверхности, поэтому SAR не является серьезной угрозой для организма:



Заключение

Несомненно, тенденция развития беспроводных технологий будет способствовать дальнейшему уменьшению радиосистем. Частоты будут становиться все выше, а длина волны - уменьшаться, что приведет к необходимости уменьшения самой антенны. С переходом в диапазон десятков гигагерц увеличатся и требования к точности выполнения излучателей. При реализации радиотракта в этом диапазоне, погрешность в долю миллиметра может привести к полной неработоспособности системы. Пусть антенны будущего и станут меньше, но их количество будет только возрастать. Ведь такие технологии как MIMO и Beamforming продолжают развиваться, а эффективность этих технологий прямо пропорциональна количеству установленных антенн в вашем смартфоне.