

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика-математикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Физико-математическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3536

№ 1 (2021)
Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ

Физико-математическая серия

выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ95VPY00029553

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76135

<https://doi.org/10.48081/EOJL7907>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукенов С. К.

доктор ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора Кумеков С. Е., *к.ф.-м.н., доцент*

Ответственный секретарь Талипов О. М., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Оспанов К. Н., *д.ф.-м.н., профессор*

Кутербекоев К. А., *д.ф.-м.н., профессор*

Ибраев Н. Х., *д.ф.-м.н.*

Ткаченко И. М., *д.ф.-м.н., профессор (Испания)*

Демкин В. П., *д.ф.-м.н., профессор (Россия)*

Qadir Abdul *доктор PhD, профессор (Пакистан)*

Lobiya D. K. *доктор PhD, профессор (Индия)*

Лапчик М. П. *д.пед.н., профессор (Россия)*

Шокубаева З. Ж., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

ФИЗИКА

МРНТИ 47.15

<https://doi.org/10.48081/UDPK9035>**П. Ж. Аудабай**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ
МИЛЛИМЕТРОВАЯ ВОЛНА 5G И НИЗКОЧАСТОТНАЯ
АНТЕННА В МОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛАХ**

В этой статье представлена новая методика размещения антенны с управляемой антенной решеткой 5G, работающей на пучках 5-миллиметрового диапазона, с низкочастотной PIFA. В этом методе низкочастотная антенна может быть прозрачной при использовании некоторых решеточных полос между низкочастотными и высокочастотными антеннами. Четырехэлементная матрица миллиметровых волн с диаграммой направленности конечного огня, работающая в диапазоне 22–31 ГГц, интегрирована с двухдиапазонной низкочастотной PIFA в мобильном терминале. Новизна этого документа заключается в размещении высокочастотной антенной решетки 5G с конечной стрельбой и низкочастотной антенной старого поколения, такой как 4G, в небольшом пространстве мобильного терминала, не влияя на диаграмму направленности и согласование импеданса как низких, так и высокочастотные антенны. Предлагаемая антенна 5G покрывает 22–31 ГГц и может сканировать 50 градусов с потерями на сканировании лучше, чем 3 дБ. Эффективность покрытия предлагаемой 5-миллиметровой антенны лучше, чем 50 и 80 % для минимального усиления 4 и 0 дБи в 22–31 ГГц соответственно. Усиление высокочастотной антенной решетки лучше, чем 9,5 дБи при 28 ГГц. Низкочастотная антенна покрывает некоторые практические полосы 4G LTE в диапазонах 740–960 МГц и 1,7–2,2 ГГц. Результаты измерений как на низких, так и на высоких частотах хорошо согласуются с результатами моделирования.

Ключевые слова: низкочастотная PIFA антенна, эффективность покрытия, диаграмма направленности, коэффициент отражения.

Введение

В связи с быстрым спросом на передачу данных с чрезвычайно высокой скоростью передачи данных, исследователи стали стремиться к технологии миллиметровых (мм-волн) [1]. Существует несколько проблем в распространении миллиметровых волн в мобильном терминале, включая потери на трассе, потери при передаче, затенение и пользовательские эффекты [2]. Таким образом, антенны с высоким усилением и управляемыми лучами желательны для применений 5G мм-волны [3]. Различные частотные спектры были предложены для сценариев 5G. Из-за наименьшего поглощения затухания частота 28 ГГц является одним из лучших вариантов для диапазона частот 5G [1].

В современных мобильных телефонах после размещения компонентов телефона остается очень небольшое пространство (небольшой зазор) и низкочастотные антенны 2G / 3G / 4G, такие как в [4–6]. Одним из решений является объединение 5-миллиметровых массивов и низкочастотных антенн. В настоящее время интеграция мм-волн и низкочастотных антенн является довольно сложной и интересной темой. Кроме того, в мобильных терминалах более желательны массивы мм-волн с диаграммами направленного излучения, которые более защищены от затенения пользователя (в режиме данных) [4], а эффект металлического экрана влияет на диаграммы направленности массива, чем на широкополосное излучение. Между тем, интеграция решетки 5G конечной стрельбы и низкочастотной антенны в небольшом пространстве является более сложной задачей, чем широкополосная, из-за интерференции низкочастотной антенны в решетке 5G. Интегрированные 4G-антенны и 5-миллиметровая антенная решетка представлены в [7]. Однако эта высокочастотная антенная решетка имеет некоторые недостатки, такие как ограниченная полоса пропускания, диаграммы направленности широкого диапазона и фиксированные диаграммы направленности излучения вместо управления лучом. Сложность многослойного изготовления является еще одной сложной проблемой в [7].

В этой статье предложена новая концепция антибликового слоя с решетками. В этом методе антенна рулевой решетки 5G с 5-миллиметровым излучением на конце пожара расположена совместно с плоской низкочастотной антенной в мобильном терминале в небольшом пространстве с минимальными помехами.

Материалы и методы

Антирефлексионный слой с решетками А. Внедрение антирефлексивной техники с решетками. В верхней или нижней части мобильного телефона имеется небольшое пространство (небольшой зазор) для размещения вместе низкочастотных и высокочастотных антенн. При расположении низкочастотных и высокочастотных антенн в мобильном терминале могут применяться две методологии:

а) Размещение антенной решетки 5G мм перед плоской низкочастотной антенной.

б) Размещение антенной решетки диаметром 5G мм позади низкочастотной плоской антенны.

В случае (а) размещение низкочастотной антенны за высокочастотной антенной на небольшом расстоянии (маленький L_c , как показано на рис. 4) имеет некоторые недостатки. Прежде всего, из-за небольшого зазора, если пространство между низкочастотной антенной и земной плоскостью уменьшается, эффективность низкочастотной антенны и полоса импеданса ухудшаются, и антенна не может работать в такой широкой полосе на низких частотах. Во-вторых, когда высокочастотные антенны заменяются перед низкочастотной антенной в той же верхней или нижней плоскости, сеть питания высокочастотных антенн трудно реализовать, поскольку она должна пересекать низкочастотную антенну. Если эти низкочастотные и высокочастотные антенны расположены в разных плоскостях (одна сверху, а другая снизу), сильная взаимная связь между ними полностью ухудшает характеристики антенны. Таким образом, это ухудшает низко- и высокочастотную работу с точки зрения согласования импедансов и диаграмм направленности.

В случае (б), низкочастотная антенна блокирует диаграммы направленности в миллиметровом массиве конечного огня, если размещена перед решеткой. Следовательно, волна не может распространяться в основном направлении. Таким образом, чрезвычайно сложно размещать эти низкочастотные и высокочастотные антенны конечного огня в небольшом пространстве без ухудшения их характеристик.

Далее предлагаются новую методику для решения этой проблемы. В этом методе низкочастотная антенна может быть прозрачной с использованием некоторых решетчатых полос между низкочастотными и высокочастотными антеннами, которые сконфигурированы в случае (б). Механизм этой прозрачности основан на технике антибликового слоя. В этом методе некоторые решетчатые полосы используются между низкочастотными и высокочастотными антеннами. Регулируя параметры решетки, волна на высоких частотах может распространяться в направлении конечного огня через низкочастотную антенну с минимальными помехами.

В. Простое модельное исследование. В этом разделе изучается эффект использования решетчатых полос в качестве антибликового слоя между низкочастотными и высокочастотными антеннами. Прототип антенны показан на рис. 1. Низкочастотная антенна представляет собой простую плоскую инвертированную F-антенну (PIFA), а высокочастотные антенны могут быть любыми типами антенн с диаграммой направленного излучения. Для простоты в этом исследовании использовался массив из четырех элементов

со сложенными диполями. Как видно на рис. 1, некоторые решетчатые полосы расположены между низкочастотными и высокочастотными антеннами. При таком расположении, когда волна в диапазоне частот мм-волн распространяется от высокочастотных антенных элементов, решетчатые полосы действуют как антиотражающий слой, так что одна часть волны передается, а другая часть отражается обратно (например, к высокочастотным элементам антенны). Переданная часть волны может дополнительно дифрагировать на низкочастотной антенне, при этом часть волн передается, а часть отражается низкочастотной антенной. Как показано на рис. 1, две части отраженных волн (то есть первая часть, отраженная решетчатыми полосами, показанная пунктирными синими линиями, и вторая часть, отраженная низкочастотной антенной, показанной сплошными красными линиями), достигают высокой элементы антенны. Чтобы подавить эти две отраженные волны на высокочастотных антеннах, две отраженные волны должны быть не в фазе. Это означает, что путь, по которому волны проходят через решетчатые полосы к низкочастотной антенне и отражаются назад, должен быть нечетным числом половинной длины волны. Это явление представлено формулой (1).

$$2 \times (L_2 + L_1) - 2 \times L_2 = 2L_1 \quad (1)$$

$$2L_1 = (2n + 1) \lambda / 2$$

Следовательно, L_1 должен составлять примерно четверть длины волны. Из-за разнесения L_1 две отраженные волны не в фазе, поэтому они подавляют друг друга, когда достигают высокочастотных антенн. Таким образом, волна от высокой частоты может распространяться в направлении конечного огня без помех.

В качестве подтверждения концепции были смоделированы три сценария для проверки действия антирефлексивных решетчатых полос:

1 В мобильном терминале существуют только высокочастотные антенны.

2 Размещенные низко- и высокочастотные антенны без решеток в мобильном терминале.

3 Размещенные низко- и высокочастотные антенны с решетками в мобильном терминале.

Полученные трехмерные диаграммы направленности усиления антенны мм-волны конечного огня в вышеупомянутых трех сценариях на частоте 28 ГГц изучены и показаны на рис. 2. Когда низкочастотные и высокочастотные антенны размещаются без решетчатых полос, отраженная волна вниз, и диаграмма направленности не является полностью огнем, как показано на

рис. 2 (б). Путем вставки решеточных полос между низкочастотными и высокочастотными антеннами можно получить диаграмму направленного излучения, как показано на рис. 2 (с). Результаты показывают, что совместно расположенные низкочастотные и высокочастотные антенны с решеточными полосами имеют результаты, аналогичные сценарию № 1, в котором существуют только высокочастотные антенны. Расстояние между решеточными полосами и низкочастотной антенной (L_1) играет важнейшую роль в эффективности решетчатого антиотражающего слоя. Другие параметры, такие как длина полос (L_s) и расстояние между полосами (S), влияют на диаграмму направленности, уровень реализованного усиления и согласование полного сопротивления. В этой конфигурации окончательные оптимизированные размеры этих трех параметров следующие: $L_s = 1,8$ мм, $S = 0,85$ мм и $L_1 = 2$ мм.

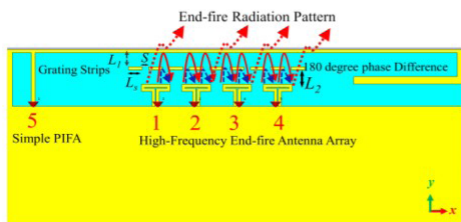


Рисунок 1 – Интегрированная низкочастотная PIFA и end-fire антенна миллиметрового диапазона.

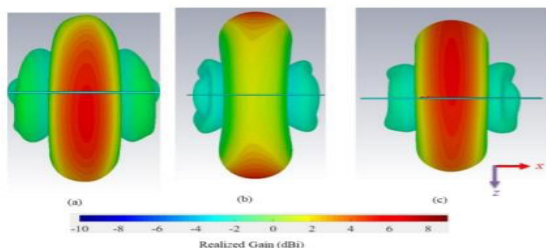


Рисунок 2 – Реализованные трехмерные диаграммы направленности излучения (дБи) в миллиметровом диапазоне. Антенная решетка в другом сценарии на 28 ГГц: (а) только антенная решетка миллиметрового диапазона без антибликовых решеток и низкочастотной антенны, (б) совмещенные низко- и высокочастотные антенны без антиотражающей решетки полосы, и (с) совмещенные антенны с полосами антиотражающей решетки.

Хотя полоса пропускания высокочастотной антенны широка (22–31 ГГц), дробная полоса пропускания, обусловленная высокочастотной

работой, ограничена примерно 30 %. Таким образом, на рис. 1 две части отраженных волн достигают высокочастотной антенны с разностью фаз 150–200° во всей рабочей полосе частот. Следовательно, в предложенной узкой дробной полосе частот отклонение фазы от 180° составляет менее 30° в пределах полосы пропускания. Можно предположить, что фаза может быть отменена в верхней и нижней полосе работы. Как показано на рис. 1, две части отраженных волн (от низкочастотной антенны и решетчатых полос) взаимно подавляют друг друга на высокочастотной антенне. Поэтому отраженные волны имеют очень ограниченное влияние на диаграмму направленности и резонанс высокочастотных антенн. Коэффициент отражения антенны номер три в трех сценариях показан на рис. 3. Результаты показывают, что S33 в случае расположенных рядом антенн с решеточными полосами практически совпадает с топологией, в которой существуют только высокочастотные антенны. S33 в случае расположенных рядом антенн без решетчатых полос также представлено на рисунке 3 в качестве сравнения, где наблюдается более узкая полоса пропускания из-за отраженных волн от низкочастотной антенны. Кроме того, влияние добавления решетчатых полос в расположенной рядом топологии на усиление антенны в трех различных сценариях было проиллюстрировано на рис. 3 на внутреннем графике.

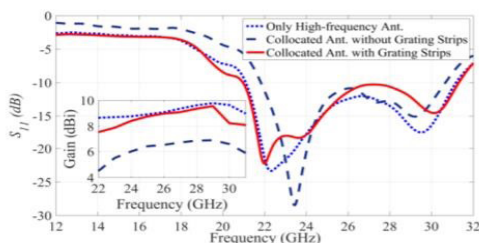


Рисунок 3 – Коэффициент отражения антенны три в совмещенной топологии при трех различных сценариях, и общий реализованный коэффициент усиления (дБи) мм-диапазона высокочастотная антенная решетка в совмещенной низкочастотной и высокочастотной антеннах в различные сценарии в широкополосном частотном диапазоне на внутреннем графике

Очевидно, что когда в расположенной рядом топологии нет решетчатых полос, луч имеет косоглазие, а рисунок не является полностью огнем конца. Таким образом, усиление антенны в направлении конечного возгорания уменьшается по сравнению с ситуацией, когда существуют только высокочастотные антенны. Из рисунка 3 видно, что коэффициенты усиления антенны и диаграммы направленности в сценариях № 1 и № 3 практически одинаковы, когда разность в усилении антенны составляет менее 1 дБ на широкополосной частоте.

Это означает, что антибликовые решетки решают проблему блокировки низкочастотной антенны в расположенной рядом топологии.

Антенна дизайн. В этом разделе метод антиотражающего слоя используется для сопоставления антенной решетки 5-мм волны с конечным огнем с низкочастотным двухдиапазонным PIFA. Конфигурации предложенных совместно расположенных низкочастотных и высокочастотных антенн показаны на рис. 4. Антенны напечатаны на высокочастотной подложке Nelco N9000 с низкими потерями с относительной диэлектрической проницаемостью 2,2, тангенсом потерь 0,0009 и толщиной 0,764 мм. Общие размеры антенны составляют $70 \times 120 \times 0,764 \text{ мм}^3$, что является стандартным размером для мобильного телефона.

Размеры антенны после оптимизации следующие:

$L_1 = 2 \text{ мм}$, $L_2 = 3,85 \text{ мм}$, $L_3 = 3,05 \text{ мм}$, $L_4 = 0,75 \text{ мм}$, $L_5 = 2 \text{ мм}$, $L_6 = 5 \text{ мм}$, $L_7 = 2,8 \text{ мм}$, $L_8 = 23,7 \text{ мм}$, $L_9 = 5,2 \text{ мм}$, $L_{10} = 7 \text{ мм}$, $L_{11} = 3,8 \text{ мм}$,

$L_{12} = 14,5 \text{ мм}$, $L_{13} = 19 \text{ мм}$, $L_{14} = 27 \text{ мм}$, $L_d = 2,8 \text{ мм}$, $L_r = 5,05 \text{ мм}$, $L_c = 9 \text{ мм}$, $W = 0,4 \text{ мм}$, $S = 0,15 \text{ мм}$, $g = 0,2 \text{ мм}$, $g_1 = 1 \text{ мм}$, $S_r = 0,25 \text{ мм}$, $S_d = 2,5 \text{ мм}$, $W_r = 0,4 \text{ мм}$, $W_d = 0,4 \text{ мм}$, $W_L = 0,4 \text{ мм}$, $W_1 = 1 \text{ мм}$, $D_r = 3,6 \text{ мм}$, $D_d = 2 \text{ мм}$, $X_s = 1,45 \text{ мм}$, $X_{sp} = 5,3 \text{ мм}$, $X_{sub} = 70 \text{ мм}$, $Y_{sub} = 120 \text{ мм}$ и $H_{sub} = 0,764 \text{ мм}$. H_{sub} – толщина подложки.

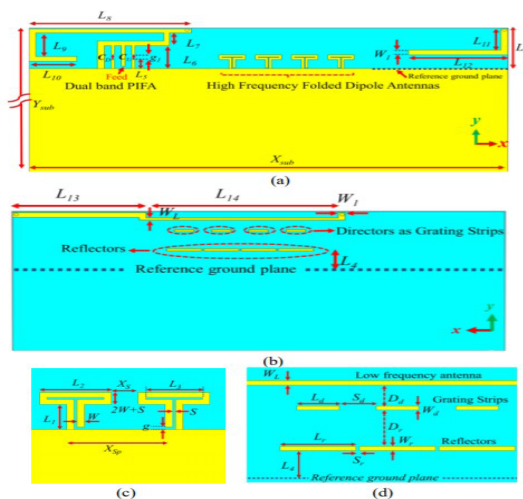


Рисунок 4 – Предлагаемая совмещенная антенная решетка 5G миллиметрового диапазона с двухдиапазонной низкочастотной PIFA. (а) вид сверху, (б) вид снизу, (с) вид сверху высокочастотная антенна с более подробной информацией и увеличением, и (д) нижняя часть вид высокочастотной антенны с более подробной информацией и увеличением

Высокочастотная антенна представляет собой волновую решетку мм с четырехэлементным сложенным диполем. Межэлементный интервал (X_{sp}) составляет половину длины волны при 28 ГГц. Для улучшения согласования импеданса высокочастотных элементов матрицы на заднем медном слое печатной платы добавлены четыре полосовых отражателя. Эти отражатели также могут улучшить характеристики антенны (например, коэффициент усиления и переднее / обратное отношение) и уменьшить большое влияние земли на диаграммы направленности антенны. Было изучено, что размещение полос решетки на передней или задней стороне медного слоя в печатной плате оказывает аналогичное влияние на диаграммы направленности конечного огня. Размещение решетчатых полос на заднем слое может компенсировать влияние большой плоскости земли на диаграммы направленности в миллиметровом диапазоне и делает рисунки более симметричными. Кроме того, когда низкочастотная антенна размещена в том же медном слое решетчатых полос, полоса полного сопротивления высокочастотной антенны становится лучше. Таким образом, как показано на рис. 4 (б), часть низкочастотной антенны размещена на том же медном слое РВС решетчатых полос. Как указано в разделе II, расстояние между решетками и низкочастотной антенной является наиболее важным параметром для метода антиотражающего слоя. Таким образом, в особом случае, как показано на рис. 4 (b), решетчатые полосы могут быть дополнительно интерпретированы как директор для каждого высокочастотного сложенного диполя и на таком же расстоянии от низкочастотной антенны. Таким образом, усиление высокочастотной антенны также может быть улучшено помимо реализации излучения от конечного пожара. Кроме того, высокочастотный массив размещен в центральной части телефона по короткому краю, что только для подтверждения концепции. На практике его также можно размещать близко к углу короткой кромки, не изменяя свойства излучения от конечного огня. Таким образом, центральная часть короткого края может быть оставлена для других компонентов мобильного телефона, таких как USB, динамик, камера и так далее. Небольшой зазор (g), как показано на рис. 4 (c), добавляется для питания высокочастотной антенны. Чтобы увеличить общий угол сканирования и эффективность покрытия при наличии большой заземляющей плоскости в совмещенной конфигурации, высокочастотные антенны были расположены альтернативно. Это означает, что первая антенна подается с правой стороны, а вторая - с левой стороны и так далее. Эта конфигурация подачи требует разности фаз 180° для соседних элементов.

Низкочастотная антенна представляет собой двойную широкополосную антенну PIFA. Двойное широкополосное свойство реализуется путем добавления двух ветвей настройки контура в точке подачи PIFA, как указано в [14]. При настройке емкостных CD и CU были достигнуты широкополосные

характеристики в двухчастотных диапазонах от 740 до 960 МГц и 1,7 – 2,2 ГГц. Значение емкости после оптимизации было выбрано $CD = 5,6$ пФ и $CU = 1,2$ пФ.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

Интегрированная четырехэлементная антенная решетка мм-волны с двухдиапазонной низкочастотной антенной системой была смоделирована и смоделирована с помощью программного обеспечения CST микроволновой студии. Оптимизированный прототип с питающими кабелями был изготовлен, как показано на рис. 5 (a-b), а также измерен, как показано на рис. 5 (c-f). Кабели с низкими потерями (работающие от низких частот до миллиметровых волн) были использованы для структуры питания высокочастотных антенн в прототипе. Как упомянуто выше, соседние элементы массива мм-волн имеют разность фаз 180° . Это достигается путем точного измерения фазы кабеля с помощью PNA и точной резки их для достижения точной разности фаз 180° на частоте 28 ГГц. Принимая во внимание, что длина кабелей для антенн 2 и 4 немного больше длины кабелей для антенн № 1 и 3, чтобы создать разность фаз на 180° . При моделировании питающие кабели были смоделированы, и их эффекты были включены.

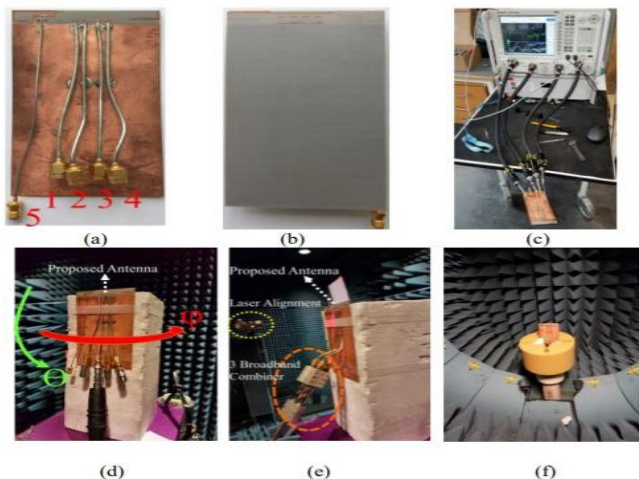


Рисунок 5 – Прототип предлагаемой интегрированной антенны заводского изготовления: (a) вид сверху, и (b) вид снизу. (c) Измерение S-параметров с помощью PNA. (d) Измерение каждого миллиметрового элемента в совмещенной топологии в большой камере. (e) Измерение антенной решетки из четырехэлементов с сумматорами в совмещенная топология. (f) Измерение низкочастотной антенны в SATIMO камера

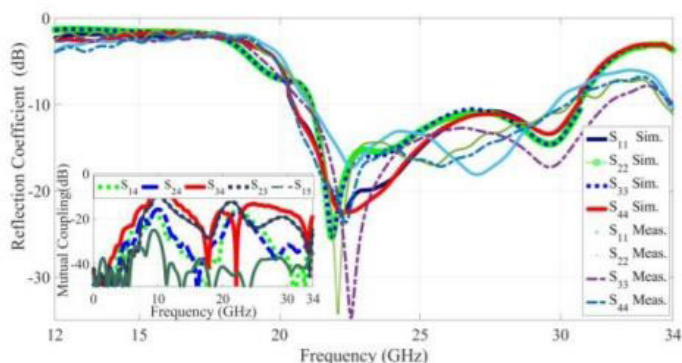


Рисунок 6 – S-параметры (смоделированные и измеренные коэффициенты отражения и измеренная изоляция) изготовленных совмещенных антенных элементов миллиметрового диапазона

S-параметры изготовленных низкочастотных и высокочастотных антенн были измерены с помощью четырехпортового N5227A PNA Keysight PNA 67 ГГц, как показано на рис. 5 (с). Измеренные S-параметры (коэффициенты отражения и взаимная связь) предлагаемых высокочастотных антенных элементов показаны на рисунке 6. Как при моделировании, так и при измерениях ширина полосы -10 дБ составляет около 22–31 ГГц. Изоляция моделирования составляет более 15 дБ, а измеренная - более 13 дБ во всей полосе (см. Рис. 6). Низкочастотная антенна в предложенной совместно расположенной топологии имеет хороший коэффициент отражения лучше, чем -6 дБ как при моделировании, так и при измерениях, от 740 до 960 МГц и 1,7-2,2 ГГц, что охватывает некоторые практические полосы 4G LTE. Взаимная связь между элементами массива (порт 1–4) и низкочастотным PIFA (порт 5) была измерена от DC-34 ГГц, где взаимная связь составляет менее -40 дБ на всех частотах (см. Рис. 6). В общем, моделируемые и измеренные S-параметры очень похожи.

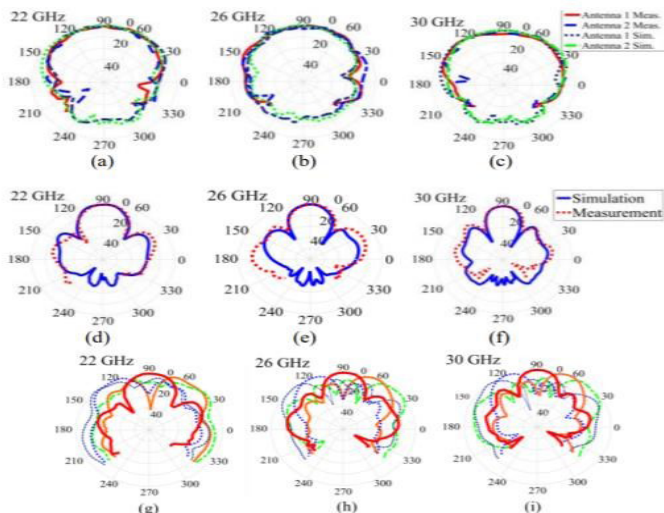


Рисунок 7 – Смоделированная и измеренная нормализованная диаграмма направленности (дБ) высокочастотная антенная решетка в Н-плоскости (x-y) при разных частоты: (a-c) диаграмма направленности каждого элемента; (d-f) диаграммы направленности массив с широкополосными сумматорами. (g-i) Комбинация измеренных диаграммы направленности (дБ) всех элементов решетки с разным фазовым сдвигом

S-параметры изготовленных низкочастотных и высокочастотных антенн были измерены с помощью четырехпортового N5227A PNA Keysight PNA 67 ГГц, как показано на рис. 5 (с). Измеренные S-параметры (коэффициенты отражения и взаимная связь) предлагаемых высокочастотных антенных элементов показаны на рисунке 6. Как при моделировании, так и при измерениях ширина полосы – 10 дБ составляет около 22–31 ГГц. Изоляция моделирования составляет более 15 дБ, а измеренная – более 13 дБ во всей полосе (см. Рис. 6). Низкочастотная антенна в предложенной совместно расположенной топологии имеет хороший коэффициент отражения лучше, чем -6 дБ как при моделировании, так и при измерениях, от 740 до 960 МГц и 1,7–2,2 ГГц, что охватывает некоторые практические полосы 4G LTE. Взаимная связь между элементами массива (порт 1–4) и низкочастотным PIFA (порт 5) была измерена от DC-34 ГГц, где взаимная связь составляет менее -40 дБ на всех частотах (см. Рис. 6). В общем, моделируемые и измеренные S-параметры очень похожи.

Реализованное усиление совместно расположенной высокочастотной антенной решетки на разных частотах было измерено и показано на рисунке 8. Моделированное и измеренное усиление второго элемента также показано на том же рисунке. Видно, что массив имеет измеренное усиление более 8 дБи в диапазоне 25–30,5 ГГц. Измеренное усиление антенной решетки около 28 ГГц составляет более 9,5 дБи, что может подходить для приложений 5G.

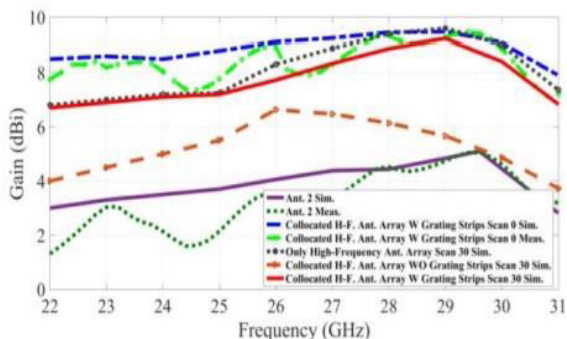


Рисунок 8 – Смоделированный и измеренный коэффициент усиления второго элемента решетки и усиление высокочастотного массива в различных сценариях и углах сканирования

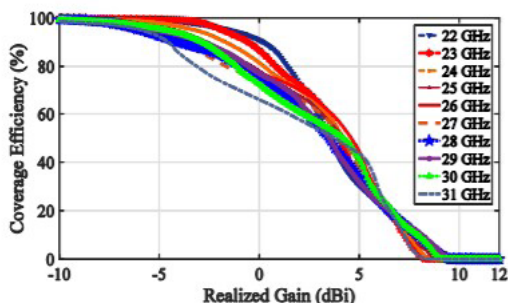


Рисунок 9 – Эффективность покрытия предлагаемой антенной решетки ммдиапазона в диапазоне совмещенная топология на разных частотах

В широкополосной связи была исследована способность управления лучом массива в миллиметровом диапазоне в топологии совместно расположенных низко- и высокочастотных антенн в различных трех сценариях. Пиковое усиление антенны при 30-градусном угле сканирования при трех сценариях приведено на рис. 8. Результаты показывают, что в

совместно расположенной топологии с решеточными полосами усиление антенны и управление направлением луча почти такие же, как в сценарии, где только высокочастотная антенная решетка существуют. Потери при сканировании лучше, чем 1,8 дБ во всей рабочей полосе частот при угле сканирования 30 градусов в расположенном рядом массиве с решетками. В размещенной антенне без решетчатых полос диаграмма направленности не является полностью огнем конца, и усиление также значительно ухудшается, когда направляется луч. Общая эффективность и реализованное усиление низкочастотной антенны были проверены в Satimo, как показано на рис. 5 (ф). Измеренная общая эффективность лучше, чем 64 % и 65 % в полосах 740–960 МГц и 1,7–2,2 ГГц соответственно. Также измеренное усиление составляет более 0,35 дБи и 3,6 дБи в полосе 740–960 МГц и в полосе 1,7–2,2 ГГц соответственно.

Для количественной оценки характеристик покрытия луча эффективность покрытия рассчитывается по формуле (1) в [13].

Эффективность покрытия дает интуитивное представление о том, как большой телесный угол может быть покрыт антенными решетками с управлением лучом в пользовательском оборудовании. Эффективность покрытия предлагаемой совместно расположенной высокочастотной антенной решетки показана на рис. 9. Можно видеть, что предлагаемая решетка может покрывать 80 процентов сфер с минимальным усилением 0 дБи и 50 процентов сфер с минимальным усилением 4 дБи на 22–31 ГГц, что является довольно большим охватом для четырехэлементной антенной решетки.

Выводы

Была предложена новая концепция антибликового слоя с решеточными полосами для размещения в 5-миллиметровом диапазоне 5-миллиметрового диапазона 5-миллиметрового диапазона и низкочастотной антенны в мобильных терминалах. Используя метод решетчатых полос, предложенная совместно расположенная высокочастотная антенная решетка работает с минимальными помехами от низкочастотной антенны с точки зрения диаграммы направленности и согласования импедансов. Высокочастотная антенна миллиметрового диапазона работает в диапазоне 22–31 ГГц как в согласовании импедансов, так и в диаграмме направленного излучения, которая покрывает несколько диапазонов для приложений 5G, таких как 24 и 28 ГГц. Массив может сканировать на ± 50 градусов излучением от конечного огня, что обеспечивает хорошую эффективность покрытия. Общая схема сканирования и эффективность покрытия предлагаемого высокочастотного массива доказывают, что антенна может покрывать 50 и 80 процентов сферы с минимальным усилением 4 дБи и 0 дБи при 22–3 ГГц, соответственно. Также была измерена низкочастотная антенна, которая может охватывать

References

- 1 **Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., Wong, G. N., Schulz, J. K., Samimi, M. and Gutierrez, F.** «Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: it will work!» IEEE Access, vol. 1, P. 335–349, 2017.
- 2 **Zhao, K., Helander, J., Sjöberg, D., He, S., Bolin, T. and Ying, Z.** «User body effect on phased array in user equipment for the 5G mmwave communication system», IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 16, P. 864–867, 2017.
- 3 **Rappaport, T. S., Gutierrez, F., Ben-Dor, E., Murdock, J. N., Qiao, Y. and Tamir, J. I.** «Broadband millimeter-wave propagation measurements and models using adaptive-beam antennas for outdoor urban cellular communications», IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 4, P. 1850–1859, April 2013.
- 4 **Syrytsin, I., Zhang, S. and Pedersen, G. F.** «Performance investigation of a mobile terminal phased array with user effects at 3.5 GHz for LTE advanced», IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 16, P. 1847–1850, 2018.
- 5 **Deng, C., Li, Y., Zhang, Z. and Feng, Z.** «Planar printed multi-resonant antenna for octaband WWAN/LTE mobile handset», IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 14, P. 1734–1737, 2015.
- 6 **Jeon, S., Oh, S., Kim, H. H. and Kim, H.** «Mobile handset antenna with double planar inverted-E (PIE) feed structure», Electron. Lett., vol. 48, no. 11, P. 612–614, May 2012.
- 7 **Hussain, R., Alreshaid, A. T., Podilchak, S. K., Sharawi, M. S.** «Compact 4G MIMO antenna integrated with a 5G array for current and future mobile handsets», IET Microw. Antennas Propag., vol. 11, no. 2, P. 271–279, Jan. 2019.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

П. Ж. Аудабай

Мобильді терминалдардағы біріктірілген кең жолақты миллиметрлік толқынды 5G антенна мен төменгі жиілікті антенна

әл-Фараби Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал баспаға 19.03.21 түсті.

*A. Zh. Audabay***Integrated broadband 5G millimeter wave and low frequency antenna in mobile terminals**

Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

Бұл мақалада төмен жиілікті PIFA антеннасымен біріктірілген 5 мм-лік диапазонда жұмыс жасайтын сәулелер үшін 5G басқарылатын антеннаны орналастырудың жаңа техникасы ұсынылған. Бұл әдісте төмен жиілікті антенна төмен жиілікті және жоғары жиілікті антенналар арасындағы кейбір торлы жолақтарды қолдану арқылы мөлдір бола алады. 22–31 ГГц диапазонында жұмыс жасайтын төрт элементті миллиметрлік толқындық бағыттау диаграммасы жылжымалы терминалда қос диапазонды төмен жиілікті PIFA-мен біріктірілген. Бұл мақаланың жаңалығы – 5G жоғары жиілікті антенналық массивті орналастыру және төменгі жиілікті антеннаны, мысалы, 4G сияқты ұялы терминалдың кішігірім кеңістігінде бағытталу диаграммасы мен төменгі және жоғарғы жиілікті антенналардың импеданс сәйкестігіне әсер етпейтіндей жағдай жасау. Ұсынылған 5G антеннасы 22–31 ГГц-ті қамтиды және сканерлеудің жоғалуы 3 дБ-ден жоғары болғанда 50 градус сканерлей алады. Ұсынылған 5 мм антеннаның қамту тиімділігі сәйкесінше 22–31 ГГц жиілігінде 4 және 0 дБи минималды күшейту кезінде 50 және 80 %-дан жақсы. Төмен жиілікті антенна 740–960 МГц және 1,7–2,2 ГГц ауқымындағы кейбір практикалық 4G LTE диапазондарын қамтиды. Төмен және жоғары жиіліктегі өлшеу нәтижелері модельдеу нәтижелерімен жақсы сәйкес келеді.

Кілтті сөздер: төмен жиілікті PIFA антеннасы, қамту аймағының эффективтілігі, бағытталу диаграммасы, шағылысу коэффициенті.

This article introduces a new 5G steerable antenna placement technique for 5mm beams with low frequency PIFA. In this method, the low frequency antenna can be transparent by using some lattice bands between the low frequency and high frequency antennas. A four-element millimeter-wave targeting pattern, operating in the 22–31 GHz range, is integrated with dual-band low frequency PIFA in the mobile terminal. The novelty of this document is to place an end-firing 5G high frequency antenna array and an old generation low frequency antenna such as 4G in a small mobile terminal space without affecting the beam pattern and impedance matching of both low and high frequency antennas. The proposed 5G antenna covers 22–31 GHz and can scan 50 degrees with a scan loss of better than 3 dB. The coverage efficiency of the proposed 5mm antenna is better than 50 and 80 % for a minimum gain of 4 and 0 dBi at 22–31 GHz, respectively. The gain of the high frequency antenna array is better than 9.5 dBi at 28 GHz. The low frequency antenna covers some practical 4G LTE bands in the 740–960 MHz and 1.7–2.2 GHz bands. The measurement results at both low and high frequencies are in good agreement with the simulation results.

Keywords: low-frequency PIFA antenna, coverage efficiency, directivity pattern, reflection coefficient.

Теруге 19.03.2021 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,04 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,0. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3743

Сдано в набор 19.03.2021 г. Подписано в печать 29.03.2021 г.

Электронное издание

7,04 Mb RAM

Усл.печ.л 8,0. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3743

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» ҚеАҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» ҚеАҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz