

НАРУЖНАЯ ПЛАНАРНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА МОБИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА 3G/4G

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-5-22-28

Manuscript received 17 January 2021;
Accepted 24 February 2021

Гайнутдинов Тимур Аншарович,
МТУСИ, Москва Россия, tedia@mtuci.ru

Кочержевский Вадим Георгиевич,
МТУСИ, Москва Россия, tedia@mtuci.ru

Ключевые слова: синфазная антенная решетка,
антенна на стекле, планарная схема питания, КСВ,
составная схема согласования

Антенны-усилители мобильного интернета являются одними из самых распространенных антеннами дачных абонентских станций систем широкополосного радиодоступа. Во многом скорость передачи информации в таких системах ограничивает уровень сигнала, представляемый базовой станцией во всей рабочей полосе интернет-сигнала. Поскольку антенна, находящаяся на стене дома неподвижна, ее можно делать сравнительно большого размера, что позволяет реализовать более высокий коэффициент усиления и соответственно повысить уровень сигнала на роутере. При этом рынок подобных антенн достаточно насыщен самыми разнообразными конструкциями антенн, однако в связи с увеличением числа людей, работающих в удаленном режиме и ожидаемом переходе на системы мобильной связи 5-го поколения, все равно продолжает бурно развиваться. В работе предлагается новая конструкция префокусирующей антенны – усилителя мобильного интернета, чьим основным достоинством является абсолютная незаметность при наружной установке. Рассматривается планарная синфазная 8-элементная антенная решетка, установленная на стекле окна дачного строения. В качестве единичных излучателей решетки предлагается использовать пленочные волновые вибраторы. Разработана схема питания антенной решетки на плоских двухпроводных линиях, обеспечивающая синфазное и практически равноамплитудное возбуждение всех элементов решетки. Приводятся расчеты направленных характеристик антенны в диапазоне 1700-2700 МГц. Показано, что разработанная решетка обладает коэффициентом усиления 8-9 дБ в диапазоне 1700-2100 МГц и 10-12 дБ в диапазоне 2400-2700 МГц. Данные значения практически не уступают аналогичным показателям известных коллинеарных антенн, а в верхней части рабочего диапазона имеют выигрыш в 1-2 дБ по сравнению с аналогами. Разработана схема согласования планарной антенной решетки, обеспечивающая КСВ около 2,5 в диапазоне 1700-2100 МГц и не хуже 2 в диапазоне 2400-2700 МГц. Приводятся варианты построения планарных антенных решеток с широкополосными излучателями, обеспечивающими аналогичное согласование без применения дополнительных согласующих устройств.

Информация об авторах:

Гайнутдинов Тимур Аншарович, к.т.н., доцент каф. ТЭДиА, МТУСИ, Москва Россия

Кочержевский Вадим Георгиевич, старший преподаватель каф. ТЭДиА, МТУСИ, Москва Россия

Для цитирования:

Гайнутдинов Т.А., Кочержевский В.Г. Наружная планарная антенная решетка мобильного интернета 3G/4G // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №5. С. 22-28.

For citation:

Gainutdinov T.A., Kocherzhewskiy V.G. (2021) The outdoor planar antenna array booster mobile internet 3G/4G. T-Comm, vol. 15, no.5, pp. 22-28. (in Russian)

Введение

Широкое развитие систем мобильного интернета и, соответственно, услуг, предоставляемых такими системами обычному пользователю, привело к появлению и развитию рынка антенно-фидерных устройств, обеспечивающих высокоскоростной интернет, в условиях, где уровень сигнала передаваемый непосредственно от базовой станции на мобильное устройство абонента – мобильный телефон, планшет, ноутбук и т.д. является недостаточным. Тогда для повышения уровня сигнала, на стене дома устанавливается направленная антенна, ориентируемая на базовую станцию, и передающая сигнала на роутер, находящийся внутри здания. Как правило, необходимость использования подобных антенн важна в дачных поселках, где при сравнительно большей плотности абонентов, уровень сигнала базовой станции невелик. Подобные антенны получили название наружных антенн систем мобильного интернета. Рынок подобных антенн достаточно велик [1] и весь обширный ассортимент подобных устройств условно можно разделить на четыре наиболее широко распространенные типа [2]. Первый тип – всенаправленные в горизонтальной плоскости антенны, обычно выполняемые на базе коллинеарных антенн [3]. Типичный вид такой антенны представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Коллинеарная антенна

Антенна устанавливается либо на мачту, что не всегда удобно на даче, либо крепится к стене дома. Обладает коэффициентом усиления от 6 до 10 дБ, в зависимости от высоты самой антенны и обеспечивает уверенную передачу и прием сигналов стандартов мобильного интернета LTE-800, GSM-900, 1800, LTE-1800, UMTS-2100, WiFi-2400, LTE-2600 при небольшом усилении 4-6 дБ или высокое усиление до 10 дБ при сравнительно большом размере антенны (до 0.9 м) и возможности работы в наиболее часто, на данный момент времени используемых диапазонах, обычно UMTS-2100, WiFi-2400, LTE-2600. Коэффициент стоячей волны (КСВ) у коллинеарных антенн в рабочем диапазоне частот не превышает 2.

Самым распространенным на данный момент времени типом наружных антенн мобильного интернета являются панельные антенны [3]. Типичный вид такой антенны изображен на рисунке 2.



Рис. 2. Панельная антенна

В отличие от коллинеарной антенны, панельная антенна обладает направленностью в горизонтальной плоскости и, соответственно, требует от пользователя наведения на базовую станцию. В случае работы во всех диапазонах мобильного интернета коэффициент усиления (КУ) не превышает 6-8 дБ в диапазонах LTE-800, GSM-900 а в верхних диапазонах GSM1800, LTE-1800, UMTS-2100, WiFi-2400, LTE-2600 может составлять 12-15 дБ. Как видно из рис.2 антенна носит практически квадратный характер и размер стороны квадрата не превышает 0.3 м. При более узкополосном применении, т.е при работе только в верхних диапазонах GSM1800, LTE-1800, UMTS-2100, WiFi-2400, LTE-2600 используются панельные антенны с большой направленностью, типичный вид которых изображен на рисунке 3.



Рис. 3. Высоконаправленная панельная антенна

Антенны приобретают ярко выраженную прямоугольную форму, за счет чего происходит сужение диаграммы направленности (ДН) в вертикальной плоскости и, соответственно повышение коэффициента усиления антенны. Естественно, при этом увеличивается вертикальный габарит антенны, который может составлять 0.5-0.7 м.

Коэффициент усиления в этом случае лежит в пределах от 15 до 18 дБ. Как правило, панельные антенны согласуются чуть лучше коллинеарных антенн и их КСВ лежит в пределах от 1.6 до 2.

Гораздо реже в качестве антенн-усилителей мобильного интернета используются директорные и логопериодические антенны [4], пришедшие из практики приемных ТВ антенн. Типичный вид такой антенны, знакомый любому дачнику, приведен на рисунке 4.



Рис. 4. Директорная антенна

Также как и для предыдущих типов антенн выделяются широкополосные антенны, работающих во всех стандартах мобильного интернета и узкополосные антенны, работающие только в системах 3G/4G и Wi-Fi. При широкополосном исполнении КУ в низкочастотной области составляет 3-5 дБ, а в верхней части 8-10 дБ. Узкополосный вариант построения антенны обеспечивает усиление 12-15 дБ. КСВ антенн не превышает 1.5-1.8. Существенным недостатком подобных антенн является большой горизонтальный размер – от 0.5 до 1.1 м, что не очень удобно с точки зрения механической устойчивости всей конструкции. Естественно, антенна требует наведения на базовую станцию

Самым “мощной” наружной антенной-услителем мобильного интернета является “параболическая” антенна. Типичный вид такой антенны приведен на рисунке 5.



Рис. 5. “Параболическая” антенна

Антенна является самой массивной из всех рассмотренных выше, используется только в системах 3G/4G и Wi-Fi, требует достаточно точной юстировки в горизонтальной плоскости и обеспечивает КУ 25-27 дБ. Размеры антенны составляют 0.8-0.9 м, в силу чего крепеж антенны требует аккуратности от пользователя. КСВ антенны не превышает 1.5-1.7.

На наш взгляд, рынок антенн-усилителей мобильного интернета будет интенсивно развиваться и в дальнейшем, как из-за проблем с обеспечением высокоскоростного интернета, людей работающих в удаленном режиме, так и с ожидаемым внедрением технологий 5G. В связи с этим в данной статье мы хотим предложить конструкцию антенны, которая по своим характеристикам близка к коллинеарной, однако позволяет обходить ограничения по КУ, свойственный коллинеарным антеннам [3], и при этом является абсолютно незаметной для внешнего наблюдателя.

Проблема незаметности антенны мобильного интернета на даче, на наш взгляд, является весьма специфической из-за существующих предрассудков о вредном влиянии технологий 5G на здоровье человека и из-за гораздо более важной проблемы, указывающий на социальный статус человека, активно пользующегося на даче высокоскоростным мобильным интернетом.

Для решения данной проблемы предлагается рассмотреть вариант построения синфазной антенной решетки с соответствующей разветвленной схемой питания на стекле окна дачного дома. Антенны на стекле, применительно к системам мобильного интернета используются как антенны наклейки на стекла кабины автомобиля. Применительно к стационарным объектам, антенны на стекле не рассматривались, ввиду того, что перечисленные в обзоре антенны, удовлетворяли любым ситуациям, а проблемы незаметности антенны на дачном участке считались мало актуальными.

Результаты исследований

Целью работы является разработка сравнительно компактной планарной синфазной антенной решетки, обладающей более высоким КУ по сравнению с коллинеарными антеннами, работающей в системах 3G/4G и Wi-Fi и имеющей КСВ не более 2 в полосе 1700-2600 МГц. Общий вид разработанной 8-элементной планарной решетки представлен на рисунке 6.

Наибольший размер антенны – ее высота, равная 0.9 м. Ширина антенны 0.12 м. Антенна бесконечно тонкая, вся схема питания – классическая схема типа “елочка” [4,5] реализуется на плоских двухпроводных линиях. Представленный на рисунке 6 вариант, соответствует расположению на левом окне, с подключением переходника от двухпроводной линии на коаксиальный кабель в штапике окна.

В качестве излучателей для пробного варианта антенны выбраны волновые пленочные вибраторы, длиной 11 см. На рисунке 7 приведена зависимость максимального КУ антенны от частоты в диапазоне 1700-2700 МГц. Как видно из рисунка 7 КУ антенны лежит в пределах 8-9 дБ в диапазонах GSM1800, LTE-1800, UMTS-2100 и составляет 10-12 дБ в диапазонах WiFi-2400, LTE-2600. Таким образом, антенна имеет сходный с высокими коллинеарными антеннами КУ в диапазоне 1700-2100 МГц и обеспечивает выигрыш по КУ, равный примерно 2-3 дБ в диапазонах WiFi-2400, LTE-2600.



Рис. 6. Планарная антенная решетка

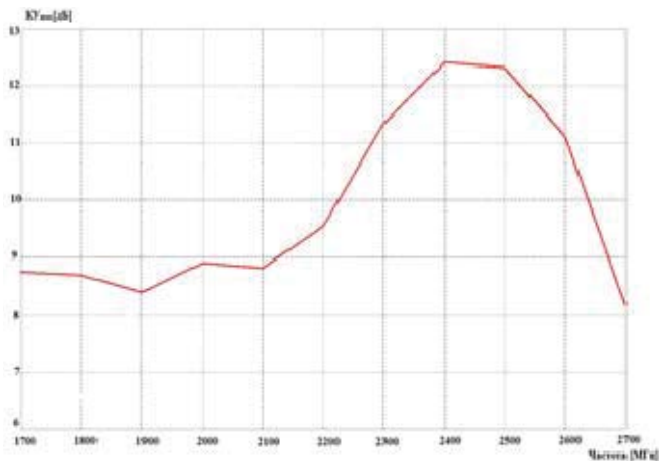


Рис. 7. Зависимость максимального КУ антенны от частоты

Наличие развитой системы питания, за счет которой, по сути, и обеспечивается выигрыш по усилению, ведет к искажению ДН антенны в горизонтальной плоскости. Проводящие пленки, находящиеся на стекле, выполняют роль своеобразного рефлектора, формирующего направленные свойства в горизонтальной плоскости. Для иллюстрации этого утверждения на рисунках 8, 9 приведем зависимости КУ от угла в горизонтальной плоскости на частотах 1700 и 2500 МГц – отклонение от всенаправленности в горизонтальной плоскости составляет около 2-2.5 дБ. На наш взгляд, такое отклонение вполне допустимо и невозможность направления антенны на стекло на базовую станцию в этом случае не ведет к серьезным потерям усиления.

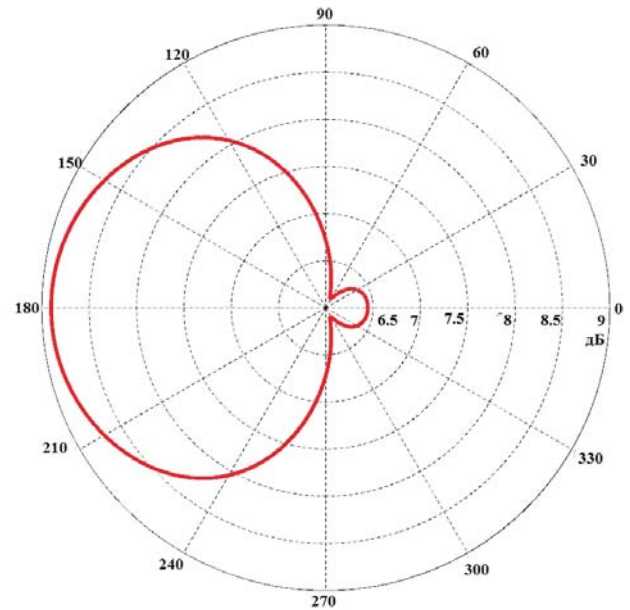


Рис. 8. Зависимость КУ от угла в горизонтальной плоскости на частоте 1700 МГц

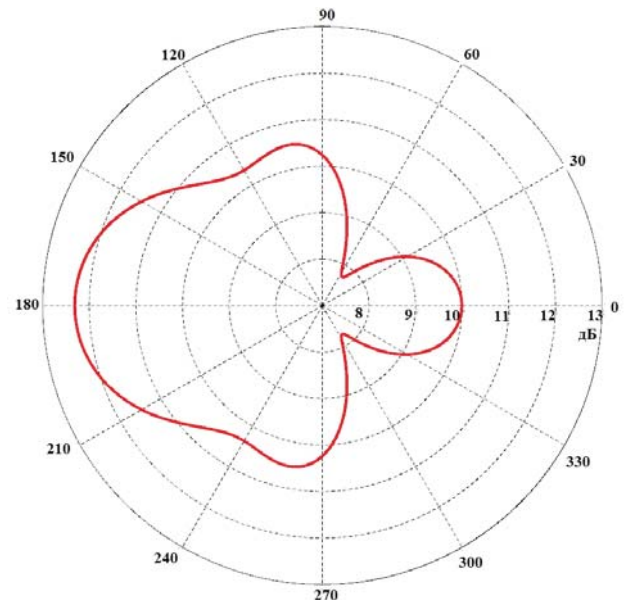


Рис. 9. Зависимость КУ от угла в горизонтальной плоскости на частоте 2600 МГц

Важнейшим вопросом при построении антенно-усилителей мобильного интернета является качество согласования антенны, т.е. фактически величина максимального КСВ в рабочей полосе частот. В антенных решетках качество согласования, в основном, определяется типом единичного излучателя и правильным подбором параметров схемы питания, в то время как направленные свойства решетки, и соответственно, величина КУ в основном определяется геометрией самой решетки и эффективностью схемы питания [5].

В силу вышесказанного, КУ разработанной антенны скорее всего будет мало зависеть от реальной конструкции единичного излучателя в решетке, поэтому оценочные графики рис.7,8,9 позволяют довольно точно спрогнозировать направленные свойства планарной антенной решетки. выполненной на основе любых пленочных излучателей вертикальной поляризации. В то же время материалы по согласованию разработанной антенны явно будут носить приближенный характер, поскольку обычный пленочный волновой вибратор отнюдь не является хорошо согласуемой в широкой полосе частот антенной.

На рисунке 10 представлена частотная зависимость входного сопротивления разработанной антенны. Красным цветом выделена активная часть сопротивления, а синим реактивная.

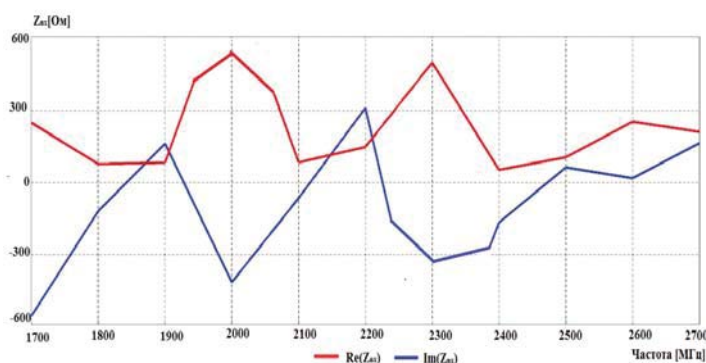


Рис. 10. Зависимость входного сопротивления планарной антенной решетки из волновых пленочных вибраторов от частоты

Естественно, ни о каком естественном согласовании антенны, при таком высокоомном и быстро меняющемся входном сопротивлении, речи быть не может. Отсюда отнюдь не следует невозможность согласования планарной антенной решетки на стекле, которая бы обладала КСВ не больше 2 во всей рабочей полосе частот, без использования дополнительных согласующих устройств. Для этого необходимо лишь изменить тип единичного излучателя в антенной решетке на вариант излучателя, обладающего высокоомным и мало зависящим от частоты входным сопротивлением. Конкретно, такие типы излучателей будут описаны в конце данной статьи.

Учитывая, весьма сложный характер частотного поведения входного сопротивления антенны для согласования с 50-Омным коаксиальным кабелем была использована составная схема с понижающей Г-цепью, приведенная на рисунке 11 [6].

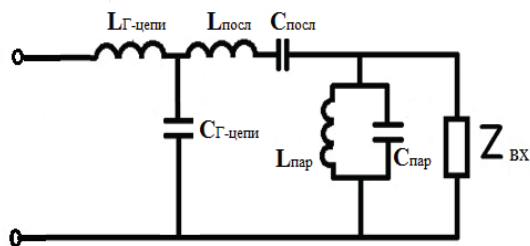


Рис. 11. Понижающая составная схема согласования

Схема согласования представляет из себя полноценное звено схемы Фано [7], состоящее из параллельного контура, включенного параллельно входу антенны, последовательного контура, включенного последовательно и понижающей Г-цепи. Все номиналы конденсаторов и катушек индуктивности в схеме подбирались вручную.

Результаты согласования приведены на рисунке 12.

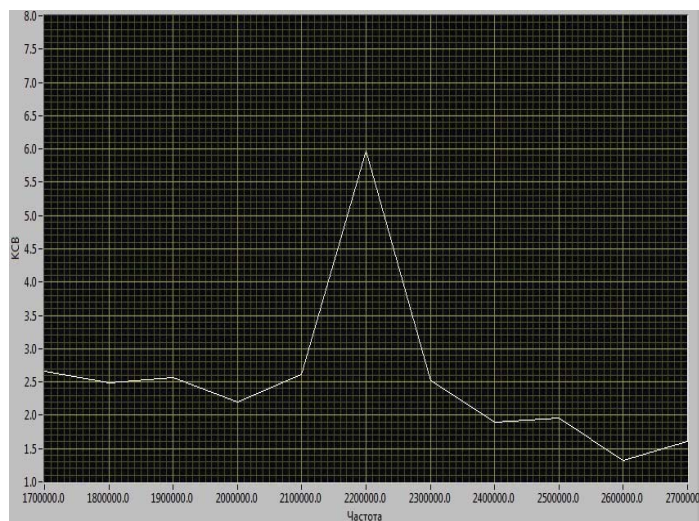


Рис. 12. Зависимость КСВ на выходе согласующего устройства от частоты

Как видно из этого рисунка, в полосе 1700-2100 МГц, соответствующей стандартам GSM1800, LTE-1800, UMTS-2100 КСВ колеблется в районе 2,5, а в полосе 2400-2700 МГц – стандарты WiFi-2400, LTE-2600 КСВ не превышает 2.

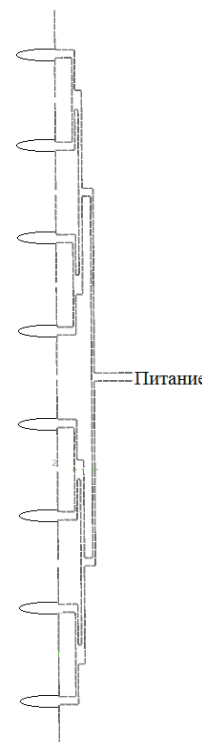


Рис. 13. Примерный вид синфазной антенной решетки из гибридных Ω-излучателей

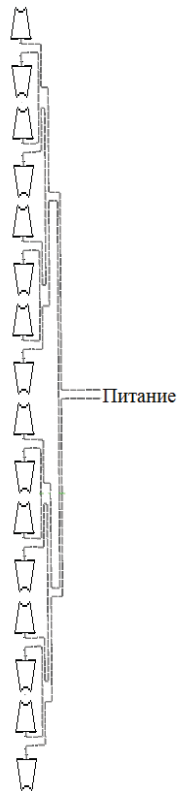


Рис. 14. Примерный вид синфазной антенной решетки из излучателей “bow-tie”

Как уже было сказано выше, результаты согласования планарной антенны на стекле могут быть существенно улучшены по сравнению с приведенными на рисунке 12 за счет использования более широкополосных по сравнению с волновыми пленочными вибраторами единичных излучателей. Главным требованием к таким излучателям, помимо высокоомности и широкополосности является возможность реализации в планарном исполнении. Наиболее подходящим, на наш взгляд, типом излучателей являются гибридные вибраторно-рамочные излучатели, рассмотренные в [8], или пленочные вибраторы “bow-tie” [9].

Примерный вид 8-элементной синфазной планарной антенной решетки на стекле, состоящей из гибридных Ω -излучателей приведен на рисунке 13, а на рисунке 14 показан примерный вид 8-элементной синфазной решетки из

пленочных вибраторов “bow-tie”.

Главной сложностью при проектировании подобных антенн, безусловно, будет являться расчет планарной схемы питания, обеспечивающей равномерное возбуждение всех излучателей и, главное, естественный КСВ антенны не превосходящий 2 во всей полосе 1700-2700 МГц.

Заключение

В заключении отметим, что на наш взгляд, развитие систем мобильного интернета с большой скоростью передачи неизбежно ведет к увеличению типов наружных антенн, среди которых, самыми незаметными, безусловно являются антенны, встроенные в окна. Развитие технологий токопроводящих стекол позволит реализовывать подобные конструкции уже на стадии производства, что позволит конечному пользователю устанавливать антенну на стекле, даже не задумываясь о системе ее крепежа.

Литература

1. https://www.pleer.ru/list_antenny-i-usiliteli-sotovoj-svyazi.html#content.
2. <https://zen.yandex.ru/media/id/5ef1cb750b5eb101c1290474/g-antenny-gid-po-usiliteliam-mobilnogo-interneta-5f1946f8e842c0719ca6aa0f>.
3. Бузов А.Л. и др. УКВ антенны для радиосвязи с подвижными объектами, радиовещания и телевидения. М.: Радио и связь, 1997. 293 с.
4. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. Под ред. Ерохина Г.А. М.: Горячая линия – Телеком 2007. 491 с.
5. Сазонов Д.М. Устройства СВЧ и антенны. М.: Высшая школа, 1988. 432 с.
6. Гайнутдинов Т.А., Гаранкина Н.И., Кочержевский, В.Г. Двухзвенное согласующее устройство длинноволновых радиовещательных антенн // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. №6. 2015. С. 48-56.
7. Фано Р. Теоретические ограничения полосы согласования произвольных импедансов. М.: Сов. радио, 1965. 72 с.
8. Гайнутдинов Т.А., Кочержевский В.Г. Широкополосный вибраторно-рамочный излучатель // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. №3. С. 16-24.
9. Modern Antenna Handbook. Edited by Constantine A. Balanis. Wiley-Interscience, 2008. 1704 p.

THE OUTDOOR PLANAR ANTENNA ARRAY BOOSTER MOBILE INTERNET 3G/4G

Timur A. Gainutdinov, Assistant professor, Cathedra of Technical Electrodynamics and Antennas, MTUCI, Moscow, Russia, tedia@mtuci.ru

Vadim G. Kocherzhewskiy, Senior lecturer, Cathedra of Technical Electrodynamics and Antennas, MTUCI, Moscow, Russia, tedia@mtuci.ru

Abstract

Internet antennas-busters are one of the most common antennas of suburban subscriber stations of broadband radio access systems. In many ways, the speed of information transmission in such systems limits the signal level provided by the base station in the entire operating band of the Internet signal. Since the antenna located on the wall of the house is stationary, it can be made relatively large, which allows you to implement a higher gain and accordingly increase the signal level on the router. At the same time, the market for such antennas is quite saturated with a wide variety of antenna designs, but due to the increase in the number of people working in remote mode and the expected transition to mobile communication systems 5G, it still continues to develop rapidly. The paper proposes a new design of the transceiver mobile Internet antenna-buster, whose main advantage is absolute imperceptibility when installed outdoors. We consider a planar in-phase 8-element antenna array installed on the window glass of a suburban building. As the individual emitters of the lattice are encouraged to use a planar wave dipoles. A feeding scheme for the antenna array on flat two-wire lines has been developed, which provides in-phase and almost equal amplitude excitation of all array elements of the array. Calculations of antenna radiation patterns in the range of 1700-2700 MHz are given. It is shown that the developed antenna has a gain of 8-9 dB in the range of 1700-2100 MHz and 10-12 dB in the range of 2400-2700 MHz. These values are practically not inferior to similar indicators of known collinear antenna arrays and in the upper part of the work range, they have a gain of 1-2 dB compared to their analogs. A planar array matching scheme has been developed that provides a VSWR of about 2.5 in the range of 1700-2100 MHz and no worse than 2 in the range of 2400-2700 MHz. Variants of constructing planar antenna arrays with broadband emitters that provide similar matching without the use of additional matching devices are presented.

Keywords: planar broadside array antenna, window mounted antenna, planar feeding scheme, VSWR, composite matching scheme.

References

1. https://www.pleer.ru/list_antenny-i-usiliteli-sotovoj-svyazi.html#content.
2. <https://zen.yandex.ru/media/id/5ef1cb750b5eb101c1290474/4g-antenny-gid-po-usiliteliam-mobilnogo-interneta-5f1946f8e842c0719ca6aa0f>.
3. Buzov A.L. et al. (1997). VHF antennas for radio communication with mobile objects, broadcasting and television. Moscow: Radio and communications. 293 p.
4. Erokhin G.A. Chernyshev O.V. et al. (2007). Antenna Devices and Radio wave Propagation. Moscow Hot Line Telecom. 491 p.
5. Sazonov D.M. (1988). SHF devices and antennas. Moscow. The higher school. 432 p.
6. Gainutdinov T.A., Garankina N.I., Kocherzhewskiy V.G. (2015). The two-unit coordinating device of long-wave broadcasting antennas. *T-Comm*. No. 6, 2015. P. 48-56.
7. R. Fano. (1965). Theoretical restrictions of a strip of coordination of arbitrary impedances. Moscow: Soviet radio. 72 p.
8. Gainutdinov T.A., Kocherzhewskiy V.G. (2020). The broadband vibrator-loop antenna. *T-Comm*. No. 3. P. 16-24
9. Modern Antenna Handbook. Edited by Constantine A. Balanis Wiley-Interscience 2008. 1704 p.

Information about authors:

Timur A. Gainutdinov, Assistant professor, Cathedra of Technical Electrodynamics and Antennas, MTUCI, Moscow, Russia

Vadim G. Kocherzhewskiy, Senior lecturer, Cathedra of Technical Electrodynamics and Antennas, MTUCI, Moscow, Russia