

УДК 621.371

## Инновационный подход к созданию антенных решеток

**В.И. Милкин, Н.В. Калитёнков, А.В. Гурин**

*Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра радиотехники  
и радиотелекоммуникационных систем*

**Аннотация.** Предложены инновационные подходы к созданию антенных решеток для приема радиосигналов телевидения, в том числе и цифрового. Фазированные антенные решетки, изготовленные на базе Z-элементов, обладают улучшенными основными характеристиками, что расширяет перспективу их прикладного использования.

**Abstract.** Innovative approaches to creating array antennas for receiving radio signals of television including the digital one have been proposed. Phased-array antennas based on Z-elements have enhanced performance. This expands the perspective of their applied applications.

**Ключевые слова:** радиосвязь, антенная решетка, Z-элементы, прикладное применение, цифровое телевидение

**Key words:** radiocommunication, array antennas, Z-elements, applied application, digital television

### 1. Введение

В целях повышения эффективности работы различных радиотехнических систем для приема и излучения радиосигналов в диапазоне метровых-дециметровых длин радиоволн применяются сложные антенные устройства в виде системы из большого числа вибраторов, называемых решетками. Токи в вибраторах системы могут иметь одинаковые фазы, и решетки в этом случае являются синфазными антенными решетками. Как правило, синфазную решетку собирают из одинаковых вибраторов, расположенных в виде нескольких этажей и нескольких рядов. Схема соединения вибраторов решетки должна быть выполнена так, чтобы одновременно обеспечивались синфазность токов и согласование решетки с нагрузкой.

Переменно-фазное возбуждение вибраторов в решетке по сравнению с синфазным имеет ряд преимуществ, к которым, в частности, относится и возможность согласования антенны с нагрузкой в более широком диапазоне частот. В самой такой антенной системе вибраторы запитываются с использованием специальной линии, расположенной вдоль оси решетки. Линейные решетки, в которых каждые два соседних вибратора имеют токи, отличающиеся по фазе, относятся к большому классу антенн – антеннам бегущей волны (Айзенберг, 1977).

На практике, зачастую, наилучшие результаты достигаются при использовании компромиссных технических решений изготовления антенных решеток. Одним из результатов реализации таких решений являются директорные антенны "волновой канал", получившие наибольшее распространение. Иногда эти антенны называют антеннами Уда-Яги по имени японских изобретателей, впервые предложивших и описавших их. Эти антенны не имеют специальных собирательных линий, а представляют собой набор активных и пассивных элементов. Элементы (активный – вибратор и пассивные – рефлектор и несколько директоров) устанавливаются на одной общей стреле, проходящей через точки нулевых потенциалов составных элементов. Суммарное поле, в котором находятся пассивные вибраторы, состоит из полей излучения, полей индукции и накладывающихся на них полей взаимодействия активного и пассивных вибраторов, что обеспечивает одностороннюю направленность приема/излучения антенны, то есть возникает как бы своего рода волновой канал. Антенны этого типа достаточно компактны, обладают относительно большим по величине коэффициентом усиления и приемлемыми значениями других важных параметров. Ввиду того, что разработано большое множество вариантов таких антенн с различным числом директоров, их различными размерами и с разными расстояниями между элементами, опубликованы сотни популярных работ и научных статей в зарубежной и отечественной научно-технической и справочной литературе, которые были посвящены описанию этих антенн, они оказались наиболее востребованными и доступными по сравнению со всеми другими типами антенн метрово-дециметрового диапазона и поэтому всесторонне использовались и используются в интересах широкого круга потребителей, в том числе и для обороны страны.

## 2. Зигзагообразные антенны

Пятьдесят лет тому назад советским изобретателем К.П. Харченко была предложена и всесторонне описана оригинальная зигзагообразная антенна, так называемая *Z*-антенна. Предложенная антенна является специфической синфазной решеткой с одной парой точек питания. По своим электрическим и эксплуатационным параметрам эта антенна значительно превосходит антенны типа "волновой канал". Прежде всего эта антенна проста в изготовлении, обладает широкой диапазономностью и высоким коэффициентом усиления при органическом симметрировании и согласовании с коаксиальным кабелем. Буквально сразу антенна была оценена при так называемом дальнем приеме телевизионных сигналов. Например, для приема эфирного телевидения в окрестностях городов с телецентрами всегда применялись различные виды директорных антенн. А в удаленных от телевизионных передатчиков районах, на границах зон уверенного приема и даже за пределами радиусов действия телецентров – на дачных участках, в селениях и небольших городках, основными антеннами, используемыми для приема наземного телевидения, являются зигзагообразные антенны (Онищенко, 1989). В последнее время эффективность *Z*-антенны и ее свойства всесторонне изучаются и заслуженно оцениваются. Наблюдается все возрастающий спрос на *Z*-антенны как на антенны для широкого потребления. Растет их востребованность как на составляющие компоненты при изготовлении специальных антенных устройств.

Если к настоящему времени возможности дальнейшего эффективного совершенствования антенн типа "волновой канал" практически исчерпаны, то модернизация зигзагообразных антенн до сих пор плодотворно ведется как самим российским автором изобретения, так и другими новаторами. Несмотря на множественность технических решений, используемых при создании зигзагообразных антенн, всегда базовыми положениями оставались положения, предложенные пятьдесят лет назад К.П. Харченко, когда полотно, состоящее из одинаковых проводников, образующих ячейки сфазированных и разнесенных относительно друг друга вибраторов, размещено в одной плоскости при одной паре точек питания. Благодаря специфической конструкции таких антенн, их излучатели возбуждаются так, что образуется плоская синфазная решетка. Простейшими зигзагообразными антеннами являются двойная треугольная антенна и её усовершенствованная версия в виде двойной комбинированной треугольной антенны (Все об антеннах, 2008). На рис. 1 показан схематический вид этих антенн. На рис. 2 представлены диаграммы направленности излучения антенн и их электрические параметры.

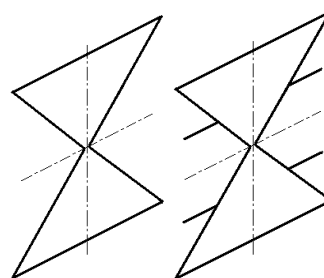


Рис. 1. Схематический вид простейших зигзагообразных антенн

Полотно двойной треугольной антенны состоит из двух равнобедренных треугольных рамок, расположенных одна над другой в одной плоскости, повернутых друг к другу незамкнутыми углами и соединённых между собой. Коаксиальный кабель через точку нулевого потенциала прокладывается по одному из плеч полотна до точек питания. Точки питания являются точками соединения незамкнутых углов рамок. Экран кабеля припаивается к точке узла питания плеча прокладки, а центральная жила припаивается к точке питания противоположного плеча. Для того, чтобы понять принцип работы такой дважды симметричной антенны, рассмотрим направления токов, текущих в элементах верхней и нижней рамки. В каждой из рамок токи протекают по контуру, включающему в себя основания и боковые проводники с противоположным направлением и наклоном сторон. Токи можно разложить на вертикальную и горизонтальную составляющие. Встречные токи вертикальных составляющих компенсируются, а токи горизонтальных составляющих – суммируются. За счёт этого зигзагообразные антенны К.П. Харченко являются антеннами с линейной поляризацией и в данном случае – с горизонтальной. В отличие от обычного диполя, за счет участия в приёме или излучении нескольких активных вибраторов и их плоскостном разнесении, *Z*-антенны обладают увеличенной апертурой, то есть эффективной площадью. Этим обеспечивается повышенный коэффициент усиления и суженная в горизонтальной и вертикальной плоскостях диаграмма направленности.

Сравнительный анализ электрических параметров отправной двойной треугольной и комбинированной треугольной антенн, в частности, диаграмм направленностей и численных характеристик, показывает улучшенные в высокочастотной части полосы рабочих частот параметры модернизированной антенны.

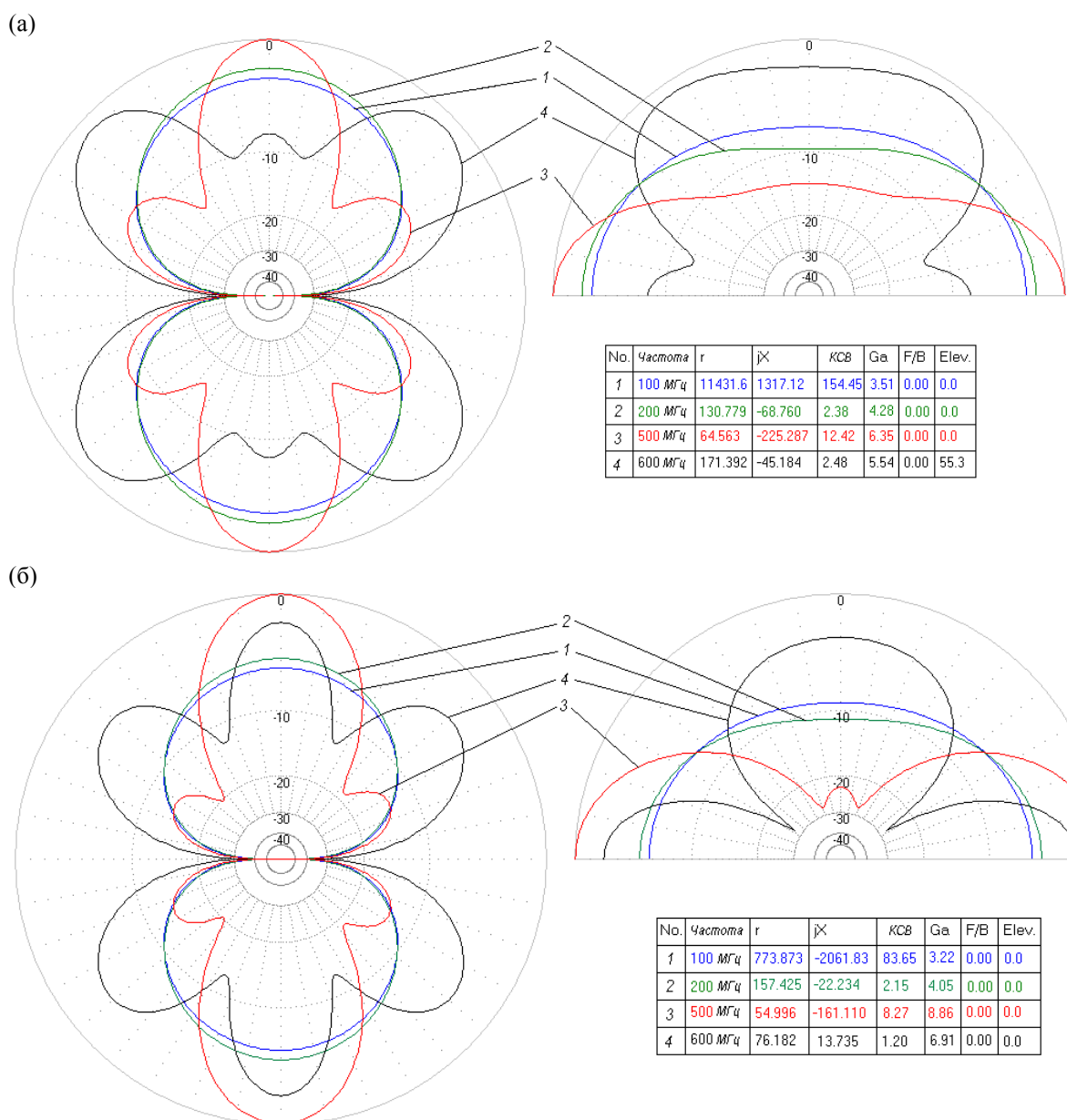


Рис. 2. Диаграмма направленности излучения антенн и их электрические параметры

### 3. Инноватика Z-антенн

Представляется важным, что, являясь своеобразной синфазной решеткой, зигзагообразная антенна конструктивно допускает значительные отклонения размеров своих элементов от расчетных размеров без нарушения основных электрических параметров. Последнее можно использовать для целей совершенствования Z-антенн и, в частности, можно допускать специальные отклонения от условия размещения вибраторов в одной плоскости.

Действительно, существуют некоторые варианты зигзагообразных антенн, когда кроме рефлектора, размещенного параллельно активному полотну антенны сзади, дополнительно перед последним устанавливается плоское пассивное зигзагообразное полотно или комбинация линейных директоров. Такие антенны являются гальванически псевдо объемными, так как не имеют электрических контактов между элементами иногда даже и в точках нулевых потенциалов. Возможна и объемная электрическая реализация зигзагообразных антенн. Если в рассматриваемой классической антенне

произвести перегиб полотна по одной или сразу обеим линиям симметрии, то образуется как геометрическая, так и электрическая объемная зигзагообразная антенна (Харченко, 1969).

При этом проводники образующих объемную конструкцию антенны – вибраторы основного полотна – могут использоваться для наращивания комбинации вмещаемых в пространственную конструкцию базовой антенны вибраторов, в том числе также зигзагообразных, более высокочастотного диапазона. Вновь возникшие структуры коммутируются на общую пару точек питания, образуя широкополосную комбинированную зигзагообразную антенну. Так, например, известная двойная комбинированная треугольная антенна состоит из двух треугольных секций, расположенных в одной плоскости и соединенных между собой. Если в такой антенне произвести перегиб полотна по вертикальной оси симметрии от развёрнутого угла  $180^\circ$  до угла раскрытия апертуры  $90^\circ$ , то улучшаются практически все основные параметры антенны. Отмечается увеличение коэффициента усиления в 1,5 раза в высокочастотной части диапазона и выравнивание коэффициента стоячей волны во всем диапазоне. Это техническое решение запатентовано как "Широкополосная комбинированная зигзагообразная антенна". Схематический вид версий этой антенны представлен на рис. 3, а электрические параметры антенны, приведенные на рис. 4, позволяют проанализировать и оценить динамику изменений основных характеристик (Милкин, Демиденко, 2007).

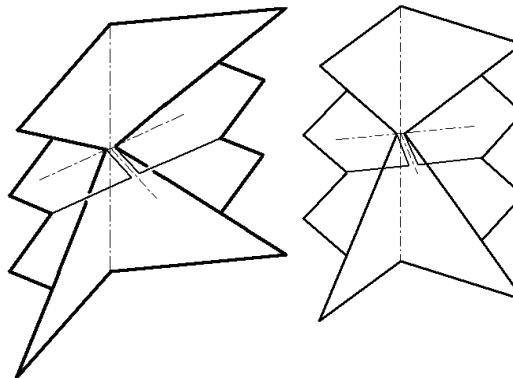


Рис. 3. Схематический вид версий широкополосной комбинированной зигзагообразной антенны

Конструкция антенны для работы в исследуемом диапазоне от 50 до 650 МГц выполнена с изготовлением основного полотна из металлической трубки диаметром 15 мм с длиной плеч 50 см и изготовлением соединительной линии и встроенного полотна из биметаллической проволоки диаметром 4 мм с длиной зигзагов по 15 см. Фидер к узлу питания выполнен 75 Ом кабелем с прокладкой внутри трубчатого плеча от точки нулевого потенциала. Экранированный проводник подключен к точке питания плеча прокладки, а центральный проводник – к точке питания противоположного плеча.

Результаты компьютерного моделирования полностью подтверждают теоретические расчеты. Если сравнить параметры рассмотренных выше Z-антенн, в частности, моделируя двойную треугольную антенну, двойную комбинированную треугольную антенну и варианты зигзагообразных объемных антенн с раскрытием в  $120^\circ$  и  $90^\circ$ , то по представленным на рисунках диаграммам направленностей и графикам изменений коэффициентов усиления, коэффициентов стоячей волны сопротивлений и коэффициентов защитного действия можно сделать вывод, что варьированием углом раскрытия от  $120^\circ$  до  $90^\circ$  можно или увеличивать коэффициент усиления КУ, при несколько ухудшенном коэффициенте стоячей волны КСВ, или улучшать КСВ при уменьшении КУ.

#### 4. Заключение

Практически во всем разрешенном в Российской Федерации частотном диапазоне эфирного телевизионного вещания до 726 МГц комбинированная зигзагообразная объемная антенна соответствует требованиям ГОСТ Р-51269-99 для широкополосных антенн, являясь сверхширокополосной. И если в низкочастотной части диапазона у всех рассматриваемых антенн приблизительно одинаковые параметры, то на частотах выше 200 МГц контрастно проявляется улучшение всех свойств у зигзагообразных объемных антенн. При этом, например, варьированием углом раскрытия от  $120^\circ$  до  $90^\circ$  можно или увеличивать коэффициент усиления КУ, при несколько ухудшенном коэффициенте стоячей волны КСВ или улучшать КСВ при уменьшении КУ. В последнее время Z-антенны оценены и находят все возрастающий спрос как изделия широкого потребления, так и при изготовлении специальных антенных устройств. Предлагаемая антенна, являющаяся очередным звеном в цепи совершенствования зигзагообразных антенн, открывает дальнейшие перспективы модернизации антенной техники, расширяет возможности использования антенн в системах контроля и измерения, устройствах радиоизлучения и радиоприема.

Литература

Айзенберг Г.З. Антенны УКВ. В 2 ч. М., Связь, ч.1, с.113-138, 1977.

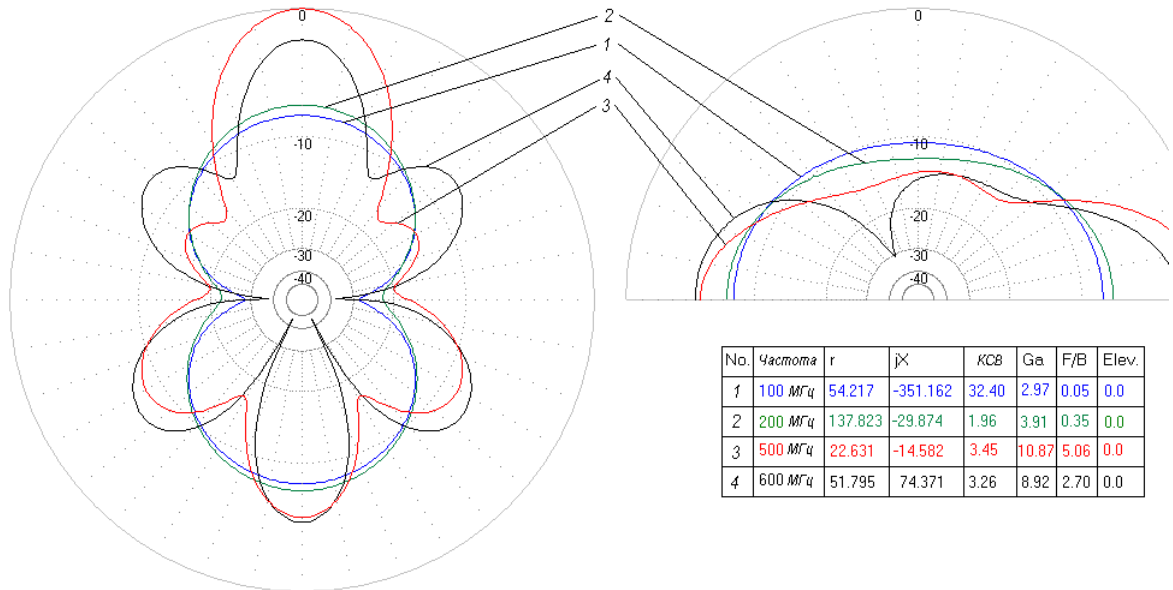
Всё об антеннах. Справочник. Сост. В.И. Назаров, В.И. Рыженко. М., Оникс, с.80-83, 2008.

Милкин В.И., Демиденко С.А. Широкополосная комбинированная зигзагообразная антенна. Патент RU 2306644 С1, бюллетень изобретений № 26 от 20.09.2007.

Онищенко И.П. Приемные телевизионные антенны. М., ДОСААФ, с.79-88, 1989.

Харченко К.П. УКВ антенны. М., ДОСААФ, с.77-101, 1969.

(а)



(б)

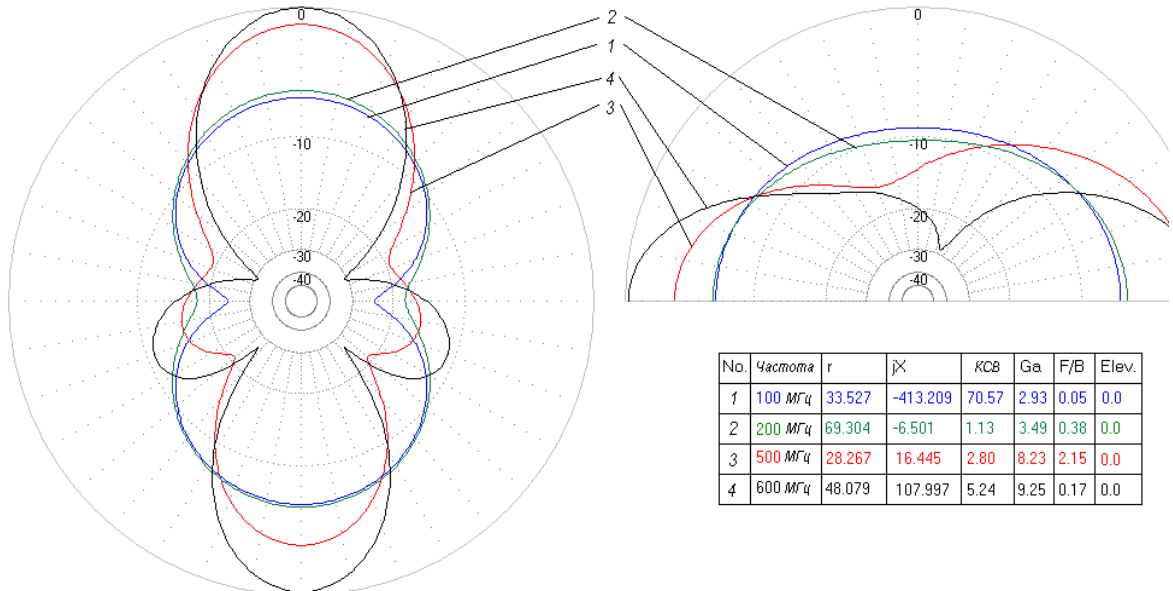


Рис. 4. Диаграммы направленности излучения широкополосных комбинированных зигзагообразных антенн и их электрические параметры