

УДК 621.396.67

**ШИРОКОПОЛОСНАЯ ПЕРЕДАЮЩАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ АНТЕННА
ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ИЗ ВИБРАТОРОВ ШУНТОВОГО ТИПА**В.П. КУДИН¹, Н.Е. САННИКОВ²¹*Международный институт трудовых и социальных отношений, Гомельский филиал
Октября, 46а, Гомель, 246029, Беларусь,*²*Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие "Луч"
Объездная дорога, 7, Гомель, 246012, Беларусь**Поступила в редакцию 7 сентября 2005*

Предложена широкополосная передающая телевизионная антенна дециметрового диапазона из вибраторов шунтового типа. Антенна работает на нескольких частотных каналах одновременно. Проведено детальное численное и экспериментальное исследование и оптимизирована геометрия антенны. В состав антенны входят два ортогональных полотна излучателей, блок разводки мощности и согласующее устройство. Создан промышленный образец антенны.

Ключевые слова: передающие телевизионные антенны, дециметровый диапазон, вибраторные антенны, делитель мощности, согласующее устройство, метод интегральных уравнений, уравнение Поклингтона.

В последние годы в связи с интенсивным освоением дециметрового диапазона для нужд телевидения и диапазона ОВЧ-ЧМ для местного радиовещания возникла потребность в новых достаточно простых, дешевых и надежных передающих антенных устройствах, пригодных для использования в государственной и коммерческой сети. Как правило, на существующих мачтах и башнях свободного места мало или вовсе нет. Учитывая также экономические соображения, следует признать перспективным разработку широкополосных антенн или, по крайней мере, антенн, позволяющих работать одновременно на нескольких частотных каналах.

В данной работе предложена широкополосная передающая телевизионная антенна дециметрового диапазона из вибраторов шунтового типа, работающая на нескольких частотных каналах. Конструктивно антенна представляет собой единую металлическую структуру, в которой вибраторы гальванически соединены друг с другом.

Обычно передающие телевизионные антенны представляют собой по вертикали антенную решетку, обеспечивающую необходимую диаграмму направленности (ДН) в вертикальной плоскости. В большинстве случаев в горизонтальной плоскости требуется близкая к круговой ДН и гораздо реже ДН специальной формы, например, если передающий центр находится вне городской черты (примером может служить телерадиоцентр в Колодищах на окраине г. Минска). В состав антенны входят также блок разводки мощности и согласующее устройство.

Поскольку для передающих телевизионных антенн предъявляются очень жесткие требования к уровню согласования — коэффициент стоячей волны (КСВ) должен быть не хуже, чем 1,1 на рабочих частотах, то была выбрана следующая стратегия конструирования антенны. Излучающая структура проектируется так, чтобы обеспечить во всем дециметровом диапазоне (470–790 МГц) требуемую ДН и уровень согласования по КСВ не хуже 1,2–1,3. В дальнейшем для конкретных рабочих каналов, которых может быть до 4–5 и располагаться они могут доста-

точно произвольно, требуемый уровень согласования достигается с помощью настраиваемого согласующего устройства. Что касается диаграмм направленности, то в горизонтальной плоскости они имеют форму "восьмерки", что позволяет использовать питаемую в квадратуре турникетную антенну для получения равномерного по азимуту излучения.

Излучающая структура предлагаемой антенны представляет собой многоэтажную антенную решетку. Каждая ячейка является хорошо известным [1, 2] вибратором шунтового типа (рис. 1). Питание к ячейке прикладывается в зазоре между точками 1 и 2 и, следовательно, создаваемое антенной поле будет горизонтально поляризовано.

Обратим внимание, что между соседними ячейками имеется гальванический контакт (в точках 3, 4, а также 5, 6). Это обстоятельство является чрезвычайно удобным с конструктивной точки зрения. Во-первых, вся структура становится цельнометаллической и самонесущей. Во-вторых, антенна может быть выполнена из трубок, внутри которых размещаются фидеры питания.

Для численного исследования применяется метод интегральных уравнений, развитый для произвольных проволочных конструкций, состоящих из набора тонких прямолинейных проводников [1]. Метод использует интегральное уравнение типа Поклингтона

$$\mathbf{E}^{pac}(\mathbf{I})_S = \mathbf{E}^{cm}_S,$$

полученное в приближении осевого тока. Здесь $\mathbf{E}^{pac}(\mathbf{I})_S$ — рассеянное поле, создаваемое индуцированными токами \mathbf{I} ; \mathbf{E}^{cm}_S — поле сторонних источников.

Для решения интегрального уравнения применяется метод Галеркина, а в качестве базисных и весовых функций используются векторные функции, состоящие из двух синусоидальных прямолинейных полугармоник, расположенных под углом друг к другу (рис. 2). Стрелками на рисунке указаны положительные направления токов базисной функции и входящих в нее полугармоник, поэтому $\Phi = \Psi_2 - \Psi_1$. Каждая полугармоника также является векторной функцией, характеризуется длиной Δ_i и направляющим ортом \mathbf{s}_i и определяется выражением $\Psi_i = \mathbf{s}_i \sin k(\Delta_i - s)/\sin k\Delta_i$.

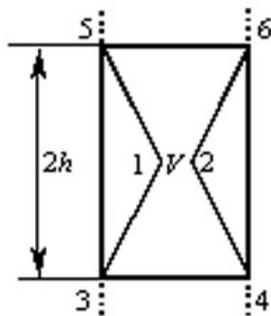


Рис. 1. Геометрия ячейки многоэтажной антенны из вибраторов шунтового типа

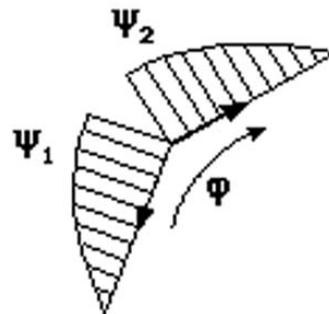


Рис. 2. Базисная функция

Введенные базисные функции покрывают всю проволочную структуру таким образом, чтобы центр функции (излом) совпадал с соответствующим узлом, а полугармоники располагались на сходящихся к данному узлу ветвях (отрезках проводников). Если в узле сходится N ветвей, то на этом узле можно построить $N(N-1)/2$ базисных функций. Все они непрерывны при переходе через узел, поэтому решение, построенное на данной системе функций, автоматически удовлетворяет условию Кирхгофа и, следовательно, дополнительных уравнений не требуется. Однако только $N-1$ функций являются независимыми. В этот набор входят любые $N-1$ функций, которые охватывают все сходящиеся к данному узлу ветви. Решение системы уравнений не зависит от конкретного выбора $N-1$ функций, который может быть выполнен разными способами, поскольку системы таких функций связаны линейным преобразованием. Поэтому определение системы линейно независимых базисных функций в узле должно быть произведе-

но из соображений удобства. На рис. 3 в качестве примера показана система функций в узле, в котором сходятся четыре ветви — здесь возможно шесть функций. В приведенном примере в качестве независимых можно выбрать функции Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

Замечательной особенностью используемых базисных функций является то, что поскольку поле от синусоидальной прямолинейной полугармоники вычисляется в аналитическом виде [4], то элементы матрицы взаимных импедансов состоят из однократных интегралов вида

$$Z_{12} = \int_0^{\Delta_1} \mathbf{E}_2(s) \mathbf{s}_1 \frac{\sin k(\Delta_1 - s)}{\sin k\Delta_1} ds,$$

где поле от синусоидальной прямолинейной полугармоники есть [3]

$$\mathbf{E}_2(s) \mathbf{s}_1 = \frac{30i}{\sin k\Delta_2} \left\{ \frac{\exp(-ikR_2)}{R_2} \left(-\mathbf{s}_1 \mathbf{s}_2 + \mathbf{s}_2 \mathbf{R}_2 \frac{\rho \mathbf{s}_1}{\rho^2} \right) + \frac{\exp(-ikR_1)}{R_1} \left[\mathbf{s}_1 \mathbf{s}_2 \cos k\Delta_2 - (iR_1 \sin k\Delta_2 + \mathbf{s}_2 \mathbf{R}_1 \cos k\Delta_2) \frac{\rho \mathbf{s}_1}{\rho^2} \right] \right\}.$$

Смысл обозначений ясен из рис. 4.

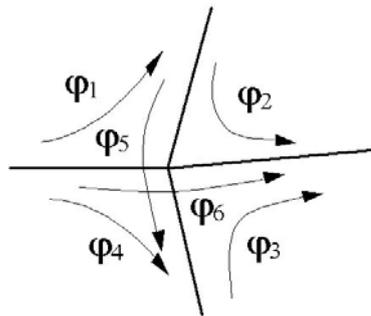


Рис. 3. Система базисных функций, автоматически удовлетворяющих условию Кирхгофа

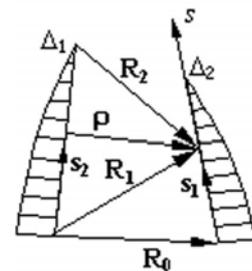


Рис. 4. К вычислению элементов матрицы взаимных импедансов

В качестве входных параметров алгоритма и вычислительной программы используется геометрия системы, т. е. координаты узлов, а также матрица, задающая совокупность проводников. При необходимости каждый проводник может содержать импедансные включения или характеризоваться погонным импедансом.

Численные исследования сходимости результатов по количеству базисных функций показывают, что в большинстве случаев каждую ветвь антенны достаточно разбить на два сегмента. При этом длина максимального сегмента составляет около 0,1–0,15 длины волны на верхней частоте рабочего диапазона. Получаемые в таком случае матрицы имеют небольшую размерность, что ведет к малым затратам машинного времени и, следовательно, к возможности провести детальный анализ и оптимизацию геометрии антенны в широкой полосе частот. Возбуждение ячейки моделировалось дельтаобразным источником напряжения, размещаемым в середине короткого проводника, соединяющего точки 1 и 2 (см. рис. 1).

Фотография экспериментального образца девятиэтажной антенны приведена на рис. 5. В данном случае антенна состоит из двух взаимно ортогональных развязанных полотен, питаемых с разностью фаз 90°. Ортогональные антенные полотна создают жесткую самонесущую цельнометаллическую конструкцию. Фидеры питания вибраторов проходят в четырех вертикальных трубах, размещенных по углам конструкции.

Один из вариантов промышленной антенны показан на рис. 6. Антенна предназначена для излучения телевизионного сигнала на частотах IV-го и V-го телевизионного диапазонов

(470–790 МГц). Конструктивно антенна состоит из восьмиэтажной турникетной излучающей структуры на базе вибраторов шунтового типа, блока разводки мощности и согласующего устройства. Питание излучателей производится фидерами из состава блока разводки. Согласующее устройство представляет собой отрезок жесткой коаксиальной линии с включенными по длине элементами подстройки емкостного типа. Вся антенна находится в радиопрозрачном укрытии, в котором создается избыточное давление сухого воздуха. Общая высота антенны около 4,5 м, масса — 155 кг. Принципиальная схема антенны приведена на рис. 7.

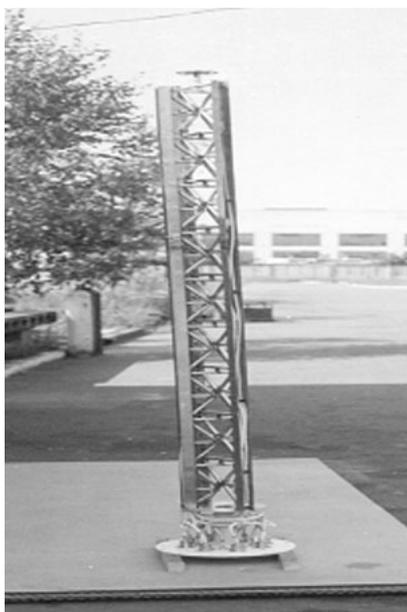


Рис. 5. Экспериментальный макет девятиэтажной антенны

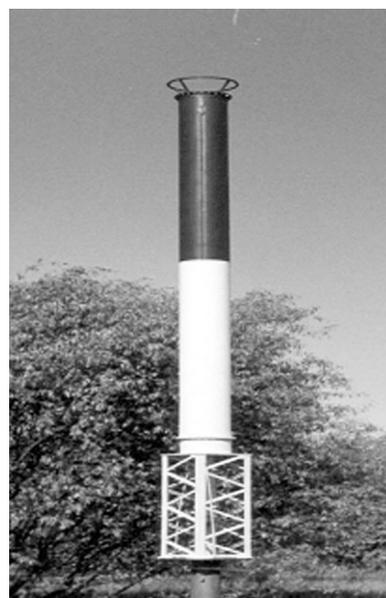


Рис. 6. Промышленный образец восьмиэтажной антенны

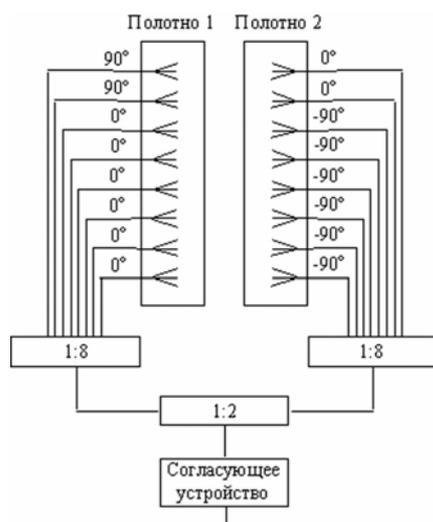


Рис. 7. Принципиальная схема антенны

В блок разводки мощности входит делитель 1:2 и два делителя 1:8 коаксиального типа с равным делением мощности. Питание излучателей производится фидерами, длины которых подбираются таким образом, чтобы обеспечить возбуждение излучателей на центральной частоте рабочего диапазона в соответствии с фазами, приведенными на рис. 7.

Полотна излучателей находятся в квадратуре, чем обеспечивается почти равномерная ДН в азимутальной плоскости. Кроме того, фазы излучателей двух верхних этажей опережают на 90° фазы излучателей первых шести этажей. Это позволяет наклонить главный максимум ДН в вертикальной плоскости на несколько градусов вниз от плоскости горизонта и "замыть" нулевые провалы ДН, как это обычно требуется для телевизионных передающих антенн для обеспечения устойчивого приема сигнала на всей территории зоны ответственности телецентра.

Согласующее устройство позволяет обеспечить уровень КСВ не хуже 1,1 одновременно в четырех частотных каналах шириной 8 МГц, расположенных достаточно произвольно в полосе около 100 МГц. Конструктивно согласующее устройство и делители мощности находятся в подставке под антенной (см. рис. 6).

Диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях на двух частотах рабочего диапазона антенны в свободном пространстве показаны на рис. 8, 9. В целом в рабочем диапазоне частот неравномерность азимутальной ДН не менее 0,7, а коэффициент усиления относительно изотропного излучателя в максимуме ДН не менее 11 дБ.

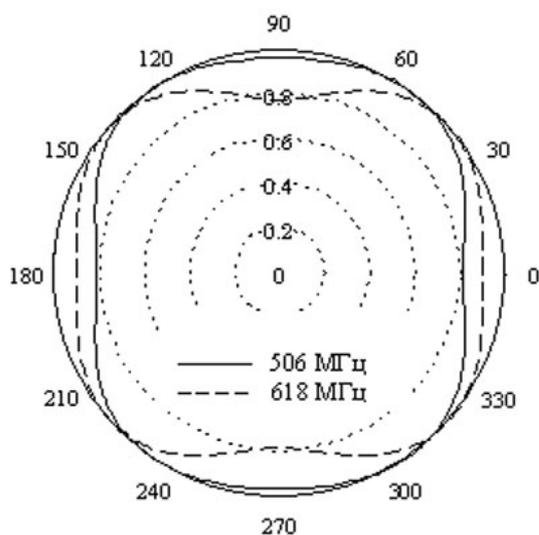


Рис. 8. Диаграммы направленности восьмизетажной антенны в горизонтальной плоскости

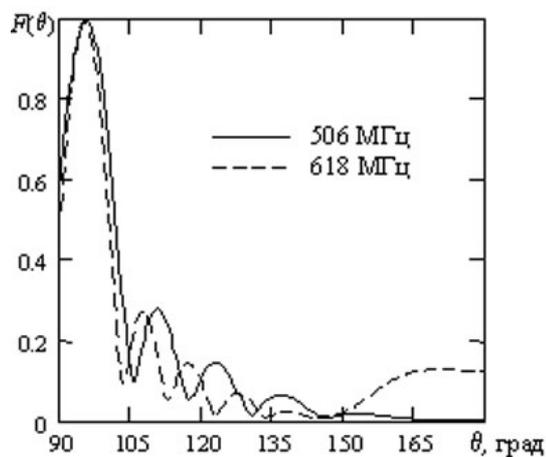


Рис. 9. Диаграммы направленности восьмизетажной антенны в вертикальной плоскости

Таким образом, в данной работе предложена широкополосная передающая телевизионная антенна дециметрового диапазона из вибраторов шунтового типа. Антенна представляет собой цельнометаллическую конструкцию и настраивается на требуемые рабочие каналы с помощью согласующего устройства. Проведено всестороннее численное и экспериментальное исследование предложенной антенны. Создан промышленный образец, успешно функционирующий в настоящее время на ряде телецентров.

THE BROADBAND UHF TRANSMITTING TV ANTENNA CONSISTING OF SHUNT DIPOLES

V.P. KUDZIN, N.J. SANNIKOV

Abstract

The broadband UHF transmitting TV antenna consisting of shunt dipoles is proposed. Antenna worked at a few frequency channels simultaneously. The detailed numeric and experimental investiga-

tion is performed and antenna geometry is optimized. Antenna consists of two orthogonal blades of radiators, the block of power dividing and the matching device. The production prototype is produced.

Литература

1. Коротковолновые антенны / *Айзенберг Г.З., Белоусов С.П., Журбенко Э.М. и др.*; Под ред. *Г. З. Айзенберга*. М., 1985. 536 с.
2. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / *Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д. и др.*; Под ред. *Г.А. Ерохина*. М., 2004. 491 с.
3. *Кудин В. П., Рубан А. П.* // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. 1986. Т. 29, № 8. С. 10–15.
4. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. *Р. Митры*. М., 1977. 487 с.