

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 656.254.16: 629.783

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, И. О. ЖИГАЛИН, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. В. БОНДАРЕВ, главный специалист Гомельского областного управления МЧС Республики Беларусь, А. И. ТИТОВ, инженер, Белорусская железная дорога, г. Гомель

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛИНЕАРНЫХ СОСТАВНЫХ АНТЕНН БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ РАДИОСЕТИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ

Рассмотрена методика компьютерного моделирования направленных составных коллинеарных антенн базовых станций радиосети железнодорожного узла с применением программы MMANA-GAL. Произведено моделирование диполов и триповов, составленных из четырехдипольных антенн и ромбовидных Х-поляризованных антенн. Показано, что данные антенны повысят качество и уровень сигнала на выходах приемопередатчиков.

В последние годы на железных дорогах СНГ идет интенсивное внедрение цифровых радиосистем, которые позволяют не только осуществлять речевой обмен, но и передавать сигналы управления и контроля технологическими процессами при помощи базовых станций, соединенных между собой волоконно-оптическими линиями связи [1–3]. В связи с этим необходима модернизация существующих сетей радиосвязи, которая может быть также осуществлена со стороны антенно-фидерного тракта. При этом передающая антенна является преобразователем энергии тока высокой частоты, поступающего от передатчика, в энергию электромагнитных волн, излучаемых в заданных направлениях. Однако не вся мощность, подведенная к антенне, расходуется на излучение, некоторая ее часть теряется в активном сопротивлении проводов, изоляторах и т. д.

Зависимость напряженности поля излучения от направления называют характеристикой – функцией направленности антенны, а представленную на графике зависимость – диаграммой направленности изотропных антенн (рисунок 1).

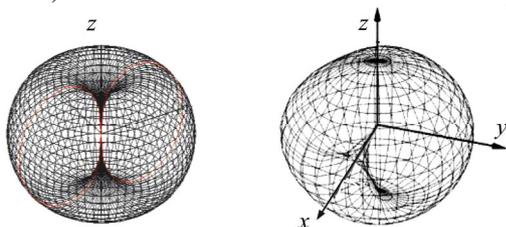


Рисунок 1 – Диаграммы направленности изотропных антенн

Основными параметрами и характеристиками передающей антенны являются:

- сопротивление излучения, представляющее собой коэффициент пропорциональности между мощностью излучения и квадратом действующего значения тока в основании антенны, характеризующее способность антенны отдавать энергию в пространство;
- сопротивление потерь – коэффициент пропорциональности между мощностью, расходуемой на нагревание проводов антенны и теряемой в изоляторах, мачтах, оттяжках и земле, и квадратом тока у основания или в пучности;

– входное сопротивление – сопротивление между точками подключения антенны к передатчику.

Перспективным является применение направленных антенн на стационарных пунктах радиосвязи, которые обеспечивают улучшение принимаемых и передаваемых сигналов [7, 8]. Для стандарта 155 МГц на практике применяются коллинеарная антенна круговой направленности в горизонтальной плоскости (рисунок 2).

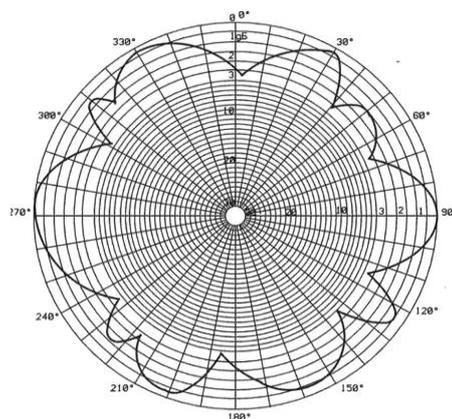


Рисунок 2 – Диаграмма направленности коллинеарной антенны в горизонтальной плоскости

Как видно из рисунка 2, диаграмма направленности коллинеарной антенны в горизонтальной плоскости среза близка к круговой.

Для работы в радиосетях железнодорожного транспорта применяются антенны различных типов, среди которых стационарные (АС), локомотивные (АЛ, АЛП), для автомобилей и других мобильных объектов (АМ), переносные радиостанции (АП, АРН, АПРМ). Для обозначения вариантов конструкции и диапазона рабочих частот представленных антенн после букв ставят цифры. Например:

- антенна АС-1/2: антенна стационарной радиостанции, вариант конструкции – 1, диапазон рабочих частот – 2 (151–156 МГц);
- антенна АЛ/3: антенна локомотивная, диапазон рабочих частот – 3 (307–308, 343–344 МГц) и т. п.

Ниже приведены схематичные изображения моделируемых антенн для стандарта 155 МГц. Антенны настраиваются на середину диапазона, т. е. моделируемая частота – 153,8 МГц.

Программа MMANA-GAL позволяет производить моделирование произвольных антенн, составленных из любого набора проводников и строить диаграмму ее направленности, а также вычислять сопротивление и коэффициент стоячей волны (КСВ) для подключенного фидера сопротивлением 50 Ом [5, 6]. В программе возможны задание источников тока (источников радиосигнала) в конце, начале или середине любого проводника и оптимизация геометрических размеров антенны для улучшения КСВ антенны, её сопротивления, коэффициента усиления и согласования.

Скриншот программы MMANA-GAL приведен на рисунке 3.

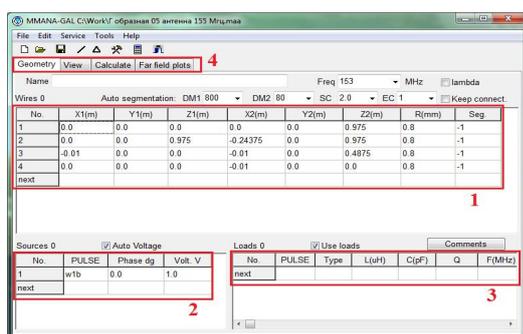


Рисунок 3 – Скриншот программы MMANA-GAL

В поле 1 программы задаются координаты проводников антенны, в полях 2 и 3 – параметры и фаза источников тока и описание нагрузок. Закладки 4 позволяют переключаться между этапами ввода параметров, внешнего вида антенны, параметров вычисления и диаграммой направленности антенны.

Пример отображения внешнего вида антенны показан на рисунке 4, а меню – на рисунке 5.

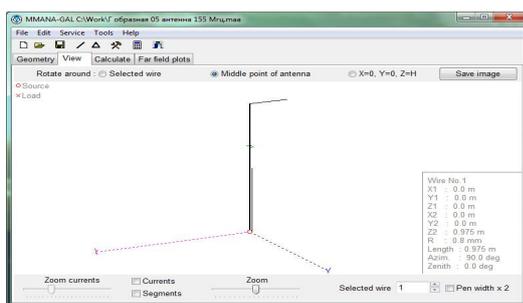


Рисунок 4 – Пример отображения внешнего вида моделируемой антенны

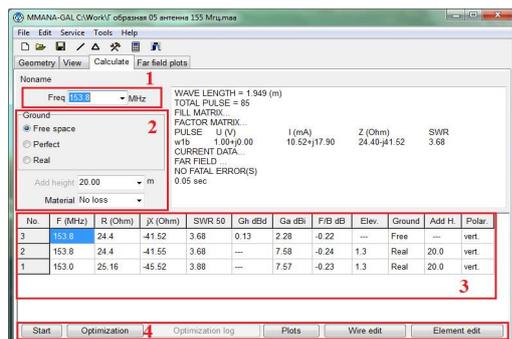


Рисунок 5 – Меню вычислений программы

Меню вычислений программы позволяет: задать частоту радиосигнала, подаваемого на антенну (поле 1); параметры моделирования антенны относительно земли и высоту подвеса антенны при моделировании антенны над землей. В поле 3 отображаются произведенные вычисления параметров антенны. Группа кнопок 4 управляет запуском моделирования, оптимизацией антенны, построением графиков и функциями правки проводников.

На рисунке 6 показана диаграмма направленности моделируемой антенны.

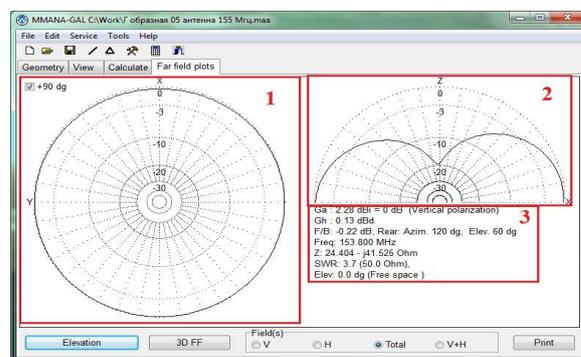


Рисунок 6 – Диаграмма направленности моделируемой антенны

Поле 1 – горизонтальная диаграмма направленности моделируемой антенны, поле 2 – вертикальная диаграмма. Также программа приводит: результаты расчета коэффициента усиления антенны в направлении оси X относительно эталонного диполя, размещенного в свободном пространстве; различие коэффициента усиления в прямом и обратном направлении оси OX; комплексное сопротивление антенны; коэффициент стоячей волны для фидера сопротивлением 50 Ом; угол от поверхности земли, в котором идет максимальное излучение антенны (поле 3). Моделируемые антенны рассчитаны на длину волны $\lambda = 1,95$ м (частоту 153,8 МГц – середину железнодорожного диапазона стандарта 155 МГц). В качестве базовых моделей антенн произведем моделирование простейших единичных диполей, имеющих длины: $l = \lambda/2$, $l = \lambda/4$ и $l = 5\lambda/8$ и высоту подвеса антенны 20 м.

Электрические параметры моделируемых антенн на частоте 153,8 МГц записаны в таблице 1.

Таблица 1 – Электрические параметры антенн

Параметр	Значение		
	$l = \lambda/2 =$	$l = \lambda/4 =$	$l = 5\lambda/8 =$
Длина диполя l, м	$= 1,2188$	$= 0,9750$	$= 0,4875$
Усиление антенны, дБ	7,73(2,44)	7,45(2,17)	7,12(1,85)
Сопротивление антенны, Ом	201,983 + + j366,188	83,039 +	13,023 – – j546,607
КСВ (для фидера 50 Ом)	17,5	2,4	462,9
Резонансная частота, МГц	123,967	147,403	341,229

Из таблицы 1 видно, что антенна-диполь длиной $l = \lambda/2$ имеет наилучшее значение КСВ для фидера

50 Ом, а антенна-диполь $l = \lambda/4$ – наименьшее значение активного сопротивления. Реактивное сопротивление антенны может быть компенсировано согласующим устройством (четырёхполюсником), установленным в антенно-фидерном тракте непосредственно перед антенной. Также имеется возможность изменять характеристики антенны путем преобразования физических размеров, формы и материала антенны.

Так как антенна-диполь длиной $l = \lambda/2$ имеет достаточно высокое активное сопротивление и удовлетворительное значение КСВ для фидера сопротивлением 50 Ом, а антенна-диполь $l = \lambda/4$ – малое сопротивление и неудовлетворительный КСВ, то рассмотрим простую комбинированную антенну, полученную в результате соединения различных диполей.

Диаграммы направленности единичных антенн-диполей приведены на рисунках 7–8, где слева – диаграмма направленности антенны в свободном пространстве, а справа – при подвесе антенны над землей на высоте 20 м.

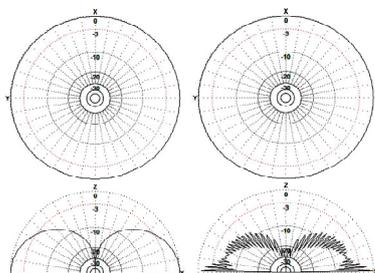


Рисунок 7 – Диаграмма направленности антенны-диполя длиной $l = 5\lambda/8$

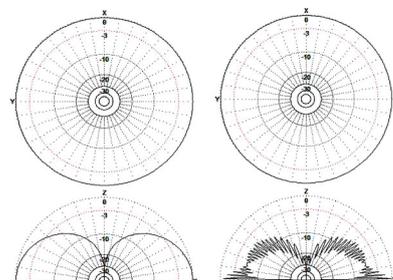


Рисунок 8 – Диаграмма направленности антенны-диполя длиной $l = \lambda/2$

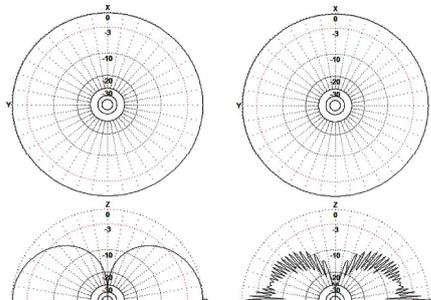


Рисунок 9 – Диаграмма направленности антенны-диполя длиной $l = \lambda/4$

Например, схема моделируемой антенны, построенной для длины волны $l = 1,95$ м, приведена на рисунке 10. Точка 1 – точка возбуждения антенны, на которую подается или снимается передаваемый сигнал.

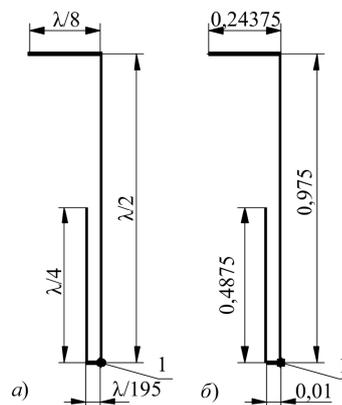


Рисунок 10 – Схема моделируемой антенны для стандарта 155 МГц:

a – размеры относительно длины волны;
б – физические размеры антенны

Данная антенна отличается небольшими габаритами. Электрические параметры антенны приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Электрические параметры антенны

Параметр	Значение
Частота, МГц	153,8
Усиление антенны, дБ	7,57(2,27)
Угол максимального излучения над горизонтом, градусы	1,7°
Сопротивление антенны, Ом	25,163 – $j45,524$
Коэффициент стоячей волны для фидера сопротивлением 50 Ом	3,9
Резонансная частота, МГц	161,833

Следует отметить, что из-за нестандартной формы рассмотренная антенна имеет несколько резонансных частот и может работать в нескольких частотных диапазонах. Рассмотрим изменение характеристик антенны в диапазоне частот 90–190 МГц.

График зависимости сопротивления антенны от частоты в диапазоне частот 90–190 МГц, построенный с помощью программы, приведен на рисунке 11.

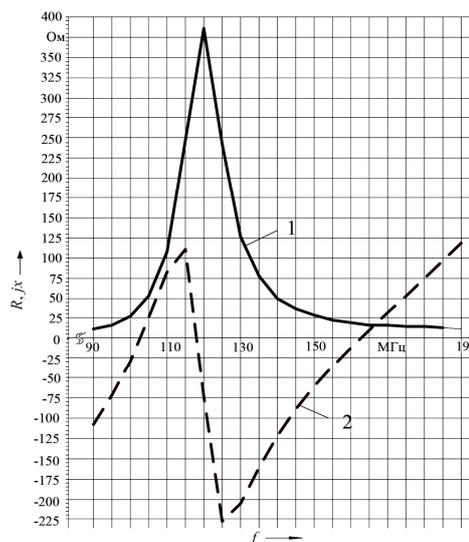


Рисунок 11 – Зависимость сопротивления антенны от частоты в диапазоне 90–190 МГц:

1 – активное сопротивление антенны;
2 – реактивное сопротивление антенны

Шаг частоты при построении графика – 5 МГц. Максимальное значение активного сопротивления антенны достигается на частоте 120 МГц и составляет $R \approx 386 \text{ Ом}$. На этой же частоте возникает резкое изменение характера реактивного сопротивления антенны. В диапазоне от 0 до 90 МГц активное сопротивление антенны постепенно нарастает. Второй максимум активного сопротивления антенны находится на частоте $f_{R \rightarrow \max} = 292,5 \text{ МГц}$ и составляет $R \approx 4550 \text{ Ом}$. Более высокие частоты рассматривать не будем.

На рисунке 12 приведена зависимость коэффициента стоячей волны для фидера сопротивлением 50 Ом от частоты.

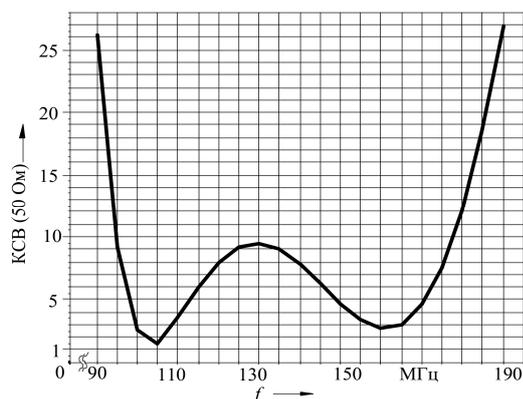


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента стоячей волны для фидера сопротивлением 50 Ом от частоты в диапазоне 90–190 МГц

Из рисунков 11 и 12 можно сделать вывод, что в заданном диапазоне железнодорожной связи 151,725–156,000 МГц антенна обладает удовлетворительными характеристиками.

Наиболее перспективно применение на железнодорожной станции или в железнодорожном узле в условиях ЧС для осуществления оперативно-технологической связи на её территории систем радиодоступа абонентов. Для организации локального радио покрытия железнодорожного полотна или станции целесообразно применять диподы и триподы, составленные из направленных антенн. Диаграммы направленности для дипода, составленного из четырехдипольных антенн и ромбовидных X-поляризованных антенн, приведены на рисунке 13 и 14, соответственно. Высота подвеса антенны – 20 м.

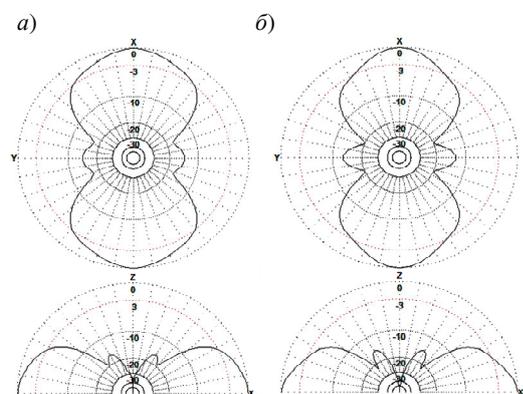


Рисунок 13 – Диаграмма направленности дипода, составленного из четырехдипольных антенн: а – диаграмма направленности на частоте 878 МГц; б – диаграмма направленности на частоте 923 МГц

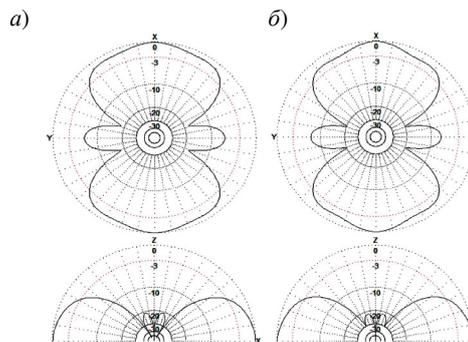


Рисунок 14 – Диаграмма направленности дипода, составленного из ромбовидных X-поляризованных антенн:

а – диаграмма направленности на частоте 878 МГц; б – диаграмма направленности на частоте 923 МГц

Из рисунков 13 и 14 наглядно видно, что диподы можно применять для покрытия радиосвязью железнодорожного полотна на перегоне.

Схема антенного трипода, составленного из направленных антенн с рефлектором, приведена на рисунке 15.

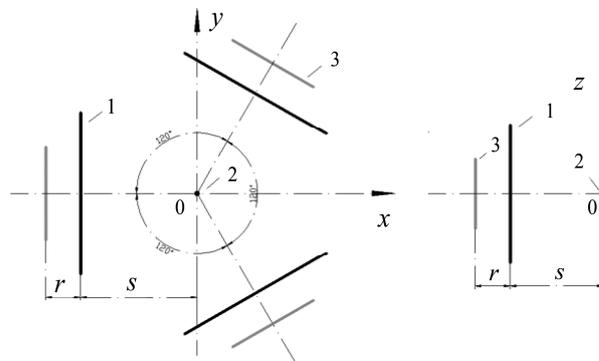


Рисунок 15 – Схема трипода:

1 – рефлектор антенны, 2 – геометрический центр конструируемой антенны, 3 – диполь антенны; s – расстояние от геометрического центра конструируемой антенны до рефлектора, r – расстояние от рефлектора до диполя антенны

Угол сдвига осей между антеннами в схеме трипода составляет 120° , и они позволяют осуществлять круговое покрытие местности радиосвязью. Наиболее перспективно применение сотовой связи на железнодорожной станции или сортировочной горке для осуществления оперативно-технологической связи на её территории.

Диаграммы направленности трипода с использованием рассматриваемых антенн приведены на рисунках 16 и 17.

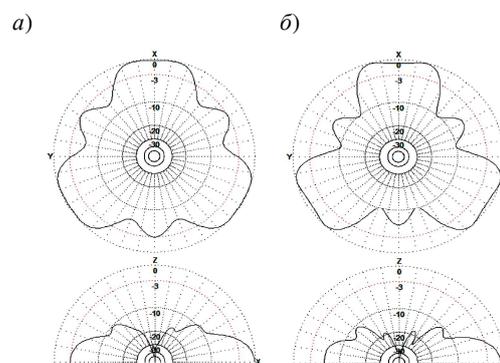


Рисунок 16 – Диаграмма направленности трипода, составленного из четырехдипольных антенн: а – диаграмма направленности на частоте 878 МГц; б – диаграмма направленности на частоте 923 МГц

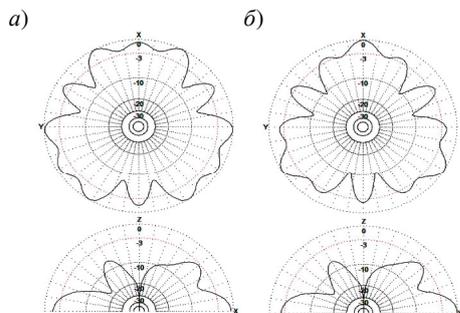


Рисунок 17 – Диаграмма направленности трипода, составленного из ромбовидных X -поляризованных антенн:
a – диаграмма направленности на частоте 878 МГц;
б – диаграмма направленности на частоте 923 МГц

Результаты моделирования диподов и триподов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты моделирования составных антенн

Тип составной антенны	Тип антенны	Параметры антенны	Сопротивление антенны R, Ом	Усиление относительно единичного диполя, дБ	КСВ для 50 Ом кабеля
Дипод	Четырехдипольная антенна	$a = \lambda/2$ $b = \lambda/4$ $m = 5\lambda/4$ $n = \lambda$ $r = \lambda/4$	99,250 + +j5,230	7,3	2,0
			109,807 + +j41,152	8,17	2,6
	Ромбовидная X -поляризованная антенна	$a = \lambda/30$ $b = \lambda/4$ $m = \lambda$ $n = 3\lambda/4$ $r = \lambda/2$	84,864 + +j7,247	5,48	1,7
			100,519 + +j41,789	5,51	2,4
Трипод	Четырехдипольная антенна	$a = \lambda/2$ $b = \lambda/4$ $m = 5\lambda/4$ $n = \lambda$ $r = \lambda/4$	101,567 + +j7,110	6,5	2,0
			110,50 + +j41,832	7,26	2,6
	Ромбовидная X -поляризованная антенна	$a = \lambda/30$ $b = \lambda/4$ $m = \lambda$ $n = 3\lambda/4$ $r = \lambda/2$	86,090 + +j2,623	5,44	1,7

Получено 04.03.2013

V. G. Shevchuk, I. O. Zhygalin, V. V. Bondareu, A. I. Tsitou. Computer simulation of the collinear composite antennas from base stations of the radio network in railway junction.

Reviewed methodology of computer modeling of composite collinear antennas of radio base stations network rail site using the MMANA-GAL. Simulation dipods and tripods, composed of four-dipole antennas and diamond-shaped h-polarized antennas. Shows, that the antenna will improve the quality and level of the signal output transceivers.

Напротив каждой антенны в таблице 3 имеется две строки: первая строка соответствует частоте моделирования антенны 878 МГц, вторая – 923 МГц. Антенны, представленные в таблице 3, совместно с согласующими антенно-фидерными устройствами можно использовать для осуществления радиопокрытия железнодорожных станций и железнодорожных узлов в условиях ЧС. Данные антенны повысят качество и уровень сигнала на выходах приемопередатчиков.

Рассмотренные составные антенны имеют хороший коэффициент стоячей волны для фидера сопротивлением 50 Ом. Также данные антенны обладают хорошими коэффициентами стоячей волны для фидера сопротивлением 50 Ом и удовлетворительными коэффициентами усиления.

Список литературы

- 1 Андрушко, О. С. Цифровизация линейного канала поездной радиосвязи / О. С. Андрушко, Д. К. Завалищин, Р. В. Себякин // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 4. – С. 12–15.
- 2 Развитие и совершенствование технологической радиосвязи / А. М. Вериго [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 6. – С. 28–32.
- 3 Вериго, А. М. Цифровые системы технологической радиосвязи / А. М. Вериго // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 7. – С. 15–18.
- 4 Настройка и согласование антенно-фидерных устройств / Дошнич Александр [Электронный ресурс] // Сервер радиолюбителей России. – Режим доступа: <http://www.qrz.ru/schemes/contribute/digest/ant21.shtml>. – Дата доступа: 27.04.2012.
- 5 Основные параметры антенны [Электронный ресурс] / Сервер радиолюбителей России. – Режим доступа: <http://www.qrz.ru/schemes/contribute/antenns/parameters.shtml>. – Дата доступа: 27.04.2012.
- 6 Роенков, Д. Н. Опыт и проблемы внедрения сетей радиосвязи стандарта GSM / Д. Н. Роенков [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 12. – С. 39–41.
- 7 Шевчук, В. Г. Моделирование антенн подвижного пункта управления с учетом условий ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожной станции / В. Г. Шевчук, В. В. Бондарев, А. И. Титов // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г. В 2 ч. Ч. 1 / Гомельский инженерный ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомельский филиал Нац. акад. наук Беларуси; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – С. 248–250.