

АНТЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ FM РАДИОВЕЩАНИЯ С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОДНОВРЕМЕННОЙ РАБОТЫ ДВУМЯ ГРУППАМИ ПЕРЕДАТЧИКОВ

DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-6-4-12

Хмелюк Юрий Аркадьевич,
ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть" (РТРС), Москва, Россия, filu@yandex.ru

Manuscript received 12 May 2023;
Accepted 05 June 2023

Шустерман Феликс Давидович,
ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть" (РТРС), Москва, Россия

Середа Константин Евгеньевич,
ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть" (РТРС), Москва, Россия

Ключевые слова: радиовещание, комбайнер, панельные антенны, диаграмма направленности, круговая поляризация, направленный ответвитель

На крупных радиоцентрах с большим количеством радиовещательных передатчиков ОВЧ диапазона, работающих в диапазоне 87.5-108 МГц, наиболее распространённым типом антенн являются панельные антенны. Преимуществом этих антенн является большая вмещаемая мощность – до сотен киловатт, возможность формирования диаграмм направленности различной формы, исходя из особенностей зоны обслуживания, распределения плотности населения в этой зоне и санитарных требований для районов жилой застройки. Для выполнения этих требований в ряде случаев требуется использование антенн, занимающих значительное место на металлоконструкциях. Выполнению этих требований часто мешает отсутствие достаточного свободного места на несущих металлоконструкциях. Кроме того, на крупных радиоцентрах существует серьёзная проблема размещения большого количества мощных FM радиовещательных передатчиков на одной антенне. Одной из причин ограничения количества последовательно включённых через системы фильтров передатчиков являются достаточно большие потери в этой цепочке фильтров. Одним из вариантов увеличения количества передатчиков, работающих на одну антенну, является использование панельных антенн с удвоенным количеством диполей в каждой панели, имеющих разную поляризацию – вертикальную и горизонтальную. Такие антенны позволяют одновременно работать двумя группами передатчиков с разными поляризациями на два фидера. Недостатком подобного решения является то, что разные радиостанции, работающие на одной антенне с разными линейными поляризациями, в разных условиях распространения радиоволн при одинаковых мощностях могут создавать разные уровни поля в точках приема, что ставит их в неравные условия. Такая антенна также может работать с круговой поляризацией, но при этом имеет единственный вход только для одной группы передатчиков. Предложена схема питания антенны, которая позволяет одновременно работать двум независимым группам передатчиков на одну антенну с круговой поляризацией и использовать все преимущества распространения радиоволн круговой поляризации в городских условиях и при мобильном приеме.

Информация об авторах:

Хмелюк Юрий Аркадьевич, заместитель директора Департамента, ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть" (РТРС), Москва, Россия

Шустерман Феликс Давидович, начальник отдела, ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть" (РТРС), Москва, Россия

Середа Константин Евгеньевич, начальник лаборатории, ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть" (РТРС), Москва, Россия

Для цитирования:

Хмелюк Ю.А., Шустерман Ф.Д., Середа К.Е. Антенная система для FM радиовещания с круговой поляризацией и возможностью одновременной работы двумя группами передатчиков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №6. С. 4-12.

For citation:

Khmeluk Yu.A., Shusterman F.D., Sereda K.E. (2023) The antenna system for FM broadcasting with circular polarization and the possibility of simultaneous work by two groups of transmitters. T-Comm, vol. 17, no.6, pp. 4-12. (in Russian)

Введение

Известно, что на крупных объектах радиовещания в ОВЧ диапазоне 87,5-108 МГц наиболее распространенным элементом антенных систем являются антенные панели, состоящие из прямоугольного плоского рефлектора, на котором установлены один или несколько диполей.

В свою очередь, вся антенная система состоит из отдельных панелей, расположенных вокруг несущей металлоконструкции и в зависимости от ее формы и заданной диаграммы направленности (ДН) имеет соответствующую конфигурацию [1], [15].

Данный тип антенных систем фактически является отраслевым стандартом и при правильном проектировании позволяет с высокой степенью достоверности получить заданную ДН антенной системы, поскольку в этом случае влиянием несущей металлоконструкции можно пренебречь [1], [9].

Подобного преимущества, несмотря на их простоту, лишены антенные системы, состоящие из линеек коллинеарных вертикальных диполей, расположенных с одной или нескольких сторон мачты или башни [11]. В этом случае их реальную ДН возможно рассчитать только с помощью специализированных программ, учитывающих все элементы металлоконструкции в зоне расположения антенны. Как показала практика, производители антенн и проектировщики по разным причинам подобные вычисления не производят, и в этом случае вещатель рискует получить глубокие повалы ДН в отдельных и заранее неизвестных направлениях.

При всех преимуществах панельных антенн имеются серьезные ограничения в их использовании как на строящихся объектах, так и при модернизации действующих.

Известно, что в большинстве крупных городов количество радиостанций превышает количество передатчиков, которые могут быть подключены к одной антенне через систему фильтров.

С одной стороны, это требует установки дополнительных антенн, а с другой стороны в ряде случаев имеются ограничения на их установку. Эти ограничения обусловлены отсутствием достаточного свободного места на участках мачты или башни, пригодных для установки подобных антенных систем, особенно многоэтажных.

Обзор способов организации одновременной работы нескольких передатчиков на одну общую антенну

Наиболее частым способом организации одновременной работы большого числа передатчиков на одну общую антенну является использование так называемых комбайнеров, построенных по схеме направленного фильтра [10].

Вся схема состоит из ряда последовательно включенных комбайнеров, каждый из которых состоит из двух полосовых фильтров, двух 3-дБ направленных ответвителей (НО) и одной балластной нагрузки. Типовая схема одного комбайнера показана на рисунке 1. Общий вид комбайнера показан на рисунке 2 [8].

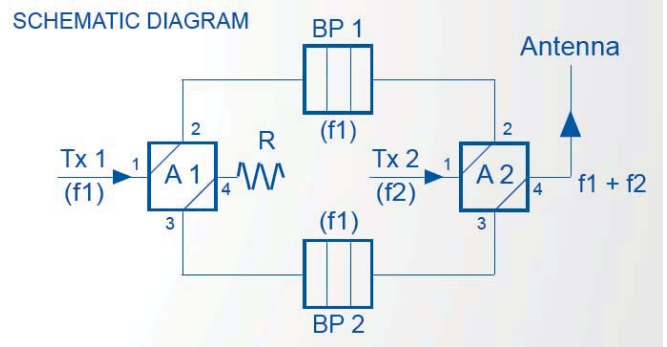


Рис. 1. Типовая блок-схема комбайнера по схеме направленного фильтра



Рис. 2. Общий вид комбайнера по схеме направленного фильтра

Сигнал, генерируемый передатчиком на частоте f_1 , подается на порт 1 (узкополосный вход NB) 3-дБ направленного ответвителя A1. Направленный ответвитель A1, делит сигнал пополам между портами 2 и 3 со сдвигом фаз 90° , в то время как на порт 4 в балластную нагрузку сигнал не поступает. Два сигнала половинной мощности проходят через полосовые фильтры BP1 и BP2, настроенные на f_1 и поступают на порты 2 и 3 ответвителя A2.

Из-за разности фаз между двумя сигналами они суммируются на 3-дБ ответвителе A2, так что вся мощность передатчика f_1 (за вычетом потерь в полосовых фильтрах BP1 и BP2) поступает на порт 4 ответвителя A2, который является выходом сумматора.

Сигнал от другого передатчика (f_2) поступает на порт 1 (широкополосный вход WB ответвителя A2), разделяется на две равные части со сдвигом фаз 90° ответвителем A2 и поступает к полосовым фильтрам. Поскольку полосовые фильтры BP1 и BP2 настроены на частоту f_1 , то сигналы с частотой f_2 отражаются от них и после сложения в ответвителе A2 поступают на выход 4 в антенну.

Таким образом, оба сигнала передатчика на частотах f_1 и f_2 суммируются на выходе, а сами передатчики остаются развязанными.

Значение типовой развязки между узкополосным входом NB и широкополосным входом WB составляет не менее 30 дБ, а в обратную сторону развязка между широкополосным входом WB и узкополосным входом NB – не менее 50 дБ (к развязке за счет фильтров добавляется развязка ответвителя A1 за счет поступления сигнала от WB в балластную нагрузку).

Описанные свойства данной схемы позволяют подключить каждый следующий комбайнер к широкополосному входу предыдущего и, таким образом, до определенных пределов увеличивать количество последовательно соединенных комбайнеров со своими частотами.

Максимальное количество последовательно соединенных комбайнеров может быть ограничено как пускопоемкой мощностью со стороны широкополосного входа, так и величиной тепловых потерь, которые суммируются от отдельных комбайнеров и могут достигать величины, с которой приходится считаться из-за уменьшения мощности, поступающую в антенну.

Другой способ организации одновременной работы нескольких передатчиков на одну общую антенну является использование комбайнера, построенного по схеме «звезда».

Данная схема показана на рисунке 3.

Общий вид комбайнера по схеме звезда для четырех передатчиков показан на рисунке 4 [8].

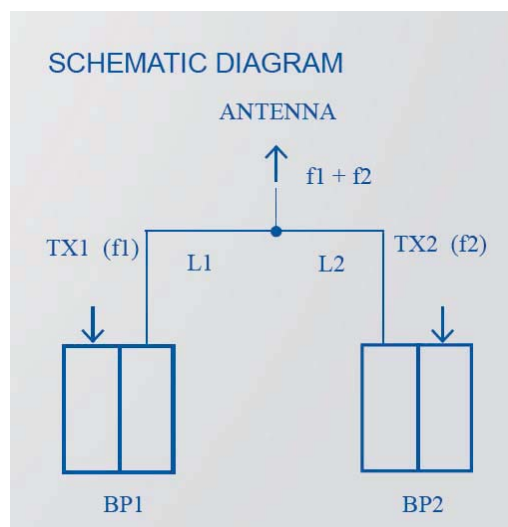


Рис. 3. Типовая блок-схема комбайнера по схеме «Звезда»

Комбайнер этого типа состоит из параллельного соединения нескольких передатчиков к одной антенной системе через полосовые фильтры, настроенные на частоту передатчика, к которому они подключены. Параллельное соединение достигается с помощью коаксиальных линий, длины которых L_1 и L_2 выбираются из условия согласования антенны общей точкой на всех объединяемых частотах.

Из-за сложности достижения высоких электрических характеристик в этой схеме количество передатчиков в этой схеме, как правило, не превышает четырех-шести.



Рис. 4. Общий вид комбайнера по схеме «Звезда»

Еще одним из способов частично обойти подобные ограничения и дополнительно произвести «уплотнение» антенны является использование антенных панелей, имеющих диполи двух разных поляризации – вертикальной и горизонтальной. В качестве примера на рисунке 5 приведена антенная панель фирмы Kathrein [12].

Panel Antenna Polarization

87.5–108 MHz
H V X

KATHEIN
Antennen · Electronic

- Optionally for circular, horizontal, vertical or slant polarization.
- Especially suitable for square masts.

Order No.	601 768 K 53 32 187	601 979 K 53 32 188
Input	4 x 7-16 female	4 x 7/8 EIA-flange
Max. power	2.5 kW per input	4 kW per input
Frequency	87.5 – 108 MHz	
VSWR	< 1.25 (linear polarization) < 1.1 (circular polarization)	
Gain (at mid-band)	7.5 dBd (linear polarization) 4.5 dBd (circular polarization)	
Impedance	50 Ω	
Polarization	Horizontal, vertical, circular	
Weight	89 kg	
Wind load (at 160 km/h)	Frontal: 1600 N Lateral: 1130 N	
Max. wind velocity	225 km/h	

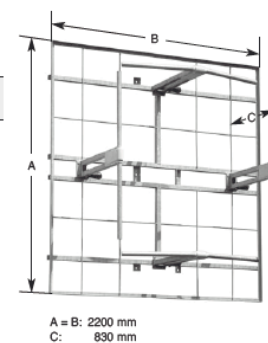


Рис. 5. Антенная панель фирмы Kathrein

Данная панель имеет отдельные входы для горизонтальных и вертикальных диполей и позволяет в зависимости от способа питания панели получить следующие виды поляризации поля: вертикальную, горизонтальную, наклонную и круговую поляризацию.

При необходимости питание антенной системы осуществляется двумя главными фидерами, при этом антенна делится на две одинаковые части, один фидер подводит энергию к вертикальным диполям, а второй – к горизонтальным.

Величина развязки между вертикальными и горизонтальными диполями равна не менее 30 дБ, что позволяет подвести к этим фидерам две независимые группы передатчиков, в каждой из которых передатчики могут быть объединены с помощью комбайнеров, описанные выше, и избежать интермодуляции из-за взаимных наводок через диполи в панелях.

Недостатком подобного решения является то, что разные радиостанции, работающие на одной антенне с разными поляризациями, в разных условиях распространения радиоволн при одинаковых мощностях могут создавать разные уровни поля в точках приема, что ставит их в неравные условия.

Разработка схемы антенной системы с круговой поляризацией и возможностью одновременной работы двумя группами передатчиков

Как было сказано выше, подобные панели позволяют работать в режиме круговой поляризации. В последнее время во многих странах Европы и Северной Америке, коммерческие FM радиостанции в своей работе стали переходить от использования линейной поляризации к круговой. Данный выбор обусловлен рядом преимуществ круговой поляризации перед линейной, которые она предоставляет конечному потребителю [2], [13], [14].

Особенностью приема радиосигналов с полем круговой поляризации является то, что в отличие от линейной поляризации, в каждой точке пространства вектор электрического поля вращается в плоскости, перпендикулярной направлению волны с периодичностью, равным периоду рабочей частоты. Таким образом, положение вектора электрического поля в конкретной точке пространства не фиксировано. При этом направление этого вращения может быть, как по часовой стрелке, так и против (правая и левая поляризация).

Из этого свойства следуют следующие преимущества поля с круговой поляризацией перед полем с линейной поляризацией:

1. Устойчивость приема.

Приемная антенна конечного пользователя может быть ориентирована произвольным образом, тогда как вектор приходящего поля также может быть ориентирован случайным образом. Это происходит по причине переотражений от зданий в условиях городской застройки, а также внутри помещения от стен. Особенно, это актуально для автомобильных антенн, положение которых фиксировано в самом автомобиле, однако сам автомобиль может быть произвольно ориентирован относительно направления приема, что приводит к рассогласованию по поляризации приемной антенны и принимаемого сигнала. Современные автомобили имеют различную конструкцию приемных антенн, и в определенном положении автомобиля приемная антенна может иметь провал ДН для одной поляризации, но принимать другую. Кроме того, возможна ситуация, когда приемная антенна находится за препятствием, которое экранирует рабочую поляризацию.

Например, приемная антенна конечного пользователя находится за вертикальным металлическим столбом, который сильно ослабляет сигнал с вертикальной поляризацией. Однако, в случае круговой поляризации, если приемная ан-

тенна может принимать обе поляризации, стабильный прием сохранится.

Таким образом, использование круговой поляризации создает возможность для устойчивого приема в условиях, когда линейная поляризация не позволяет этого сделать.

2. Уменьшение интерференционных замираний и замираний, обусловленных высотной застройкой.

В условиях городской застройки, а также внутри помещения хорошо известен эффект наличия интерференционных замираний, который происходит из-за того, что падающая и отраженные волны в определенных точках пространства складываются в противофазе [3]. Это приводит к уменьшению суммарного поля в точке приема, а если эти волны близки по амплитуде и противофазны, то провалы уровня сигнала могут быть весьма значительны.

При использовании круговой поляризации интерференционные замирания значительно меньше. Это происходит из-за того, что для разных поляризаций условия для появления интерференционных минимумов в одном и том же месте различны. Что также важно: при отражении от препятствий круговая поляризация меняет направление вращения на противоположенное, что значительно уменьшает интерференционные минимумы при сложении падающей и отраженной волны.

Кроме того, в условиях нахождения внутри городских «колодцев» переотражение от кромок крыш горизонтальной составляющей в ряде случаев позволяет избежать глубоких провалов сигнала.

3. Лучшее проникновение внутрь помещений.

Препятствия для проникновения сигнала внутрь помещений также могут разную конфигурацию и материалы, что влияет на разные поляризации поля по-разному, поэтому круговая поляризация увеличивает вероятность и глубину проникновения сигнала внутрь помещения.

4. Меньшее влияние погодных условий.

Имеются сведения, что распространение сигнала круговой поляризации в меньшей степени подвержено влиянию таких погодных явлений, как дождь и снег.

Поскольку мощность в поле круговой поляризации изначально распределена поровну между вертикальной и горизонтальной поляризациями пополам, теоретически при приеме на линейный вибратор теряется половина мощности, т.е. 3 дБ. В связи с этим распространено мнение, что при работе с круговой поляризацией эти 3 дБ теряются.

Тем не менее, это верно только для идеальных условий приема, когда положение приемной антенны полностью соответствует положению вектора электрического поля принимаемого сигнала. Как показано в п.п. 1-4, в реальных условиях, особенно городских, преимущества работы с круговой поляризацией перевешивают гипотетическую потерю этих 3 дБ.

Реализация режима круговой поляризации в панельных антеннах, как правило, осуществляется объединением вертикальных и горизонтальных диполей в отдельных панелях через фазосдвигающий отрезок кабеля электрической длины 90° на центральной частоте. При этом питание всей антенны осуществляется одним кабелем.

Недостатком работы такой схемы в режиме круговой поляризации по сравнению с режимом работы с двумя раздельными поляризациями является сокращение вдвое возможного количества передатчиков, работающих на одной антенне.

Специалистами Департамента радиовещания и радиосвязи РТРС предложено решение, позволяющее реализовать режим круговой поляризации при сохранении двух независимых входов антенны с возможностью одновременной работы двумя группами передатчиков.

Схема антенны показана на рисунке 6.

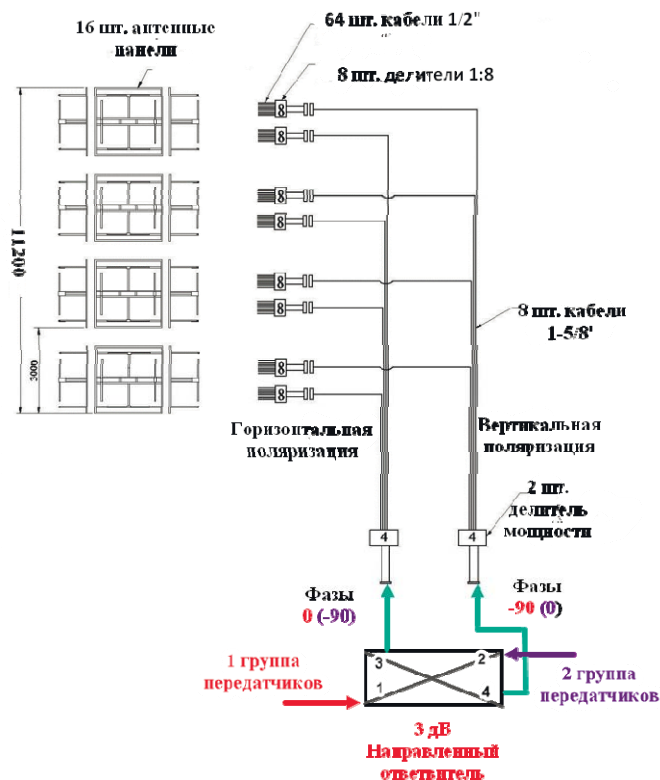


Рис. 6. Схема антенны с возможностью одновременной работы двумя группами передатчиков

На рис.6 к стандартной схеме антенной системы, состоящей из диполей двух поляризаций, добавлен 3 дБ направленный ответвитель (гибридный мост), являющийся стандартным компонентом мостов сложения FM передатчиков. В одну диагональ моста (1-2) включены два фидера от систем сложения передатчиков, а в другую (3-4) – два фидера, идущие от половин антенн с вертикальными и горизонтальными диполями.

Задача получения круговой поляризации от обеих групп передатчиков решается за счет следующих свойств 3-дБ направленного ответвителя: сдвиг фаз между выходами моста 3 и 4 равен 90° или -90° в зависимости от точки питания второй диагонали (1 или 2) [4], [7].

На рисунке 2 красным и фиолетовым цветом показаны фазы сигналов от 1-ой и 2-ой группы передатчиков. В результате передатчики 1-ой и 2-ой группы одновременно излучают круговую поляризацию разных направлений (правую и левую).

При реализации подобной схемы возникает вопрос о развязке между группами передатчиков, подключенных к выходам моста, о согласовании передатчиков, а также о распределении мощности между вертикальной и горизонтальной поляризациями для каждой группы передатчиков.

Анализ работы схемы

Для анализа работы схемы рассмотрим часть схемы питания антенны с направленным ответвителем на рисунке 7.

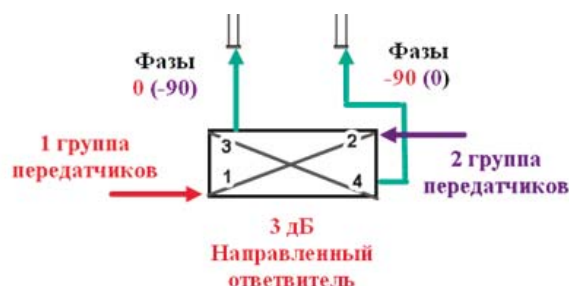


Рис. 7. Схема питания антенны через направленный ответвитель

1. Развязка между двумя группами передатчиков.

Поскольку поляризационная развязка между половинами антенны по данным производителя составляет не менее 35 дБ, то развязка между двумя группами передатчиков в основном будет определяться развязкой между диагоналями моста.

Сам мост при хорошем исполнении обеспечивает развязку между передатчиками, подключенными к диагоналям, не менее 30 дБ, однако это справедливо только при идеальном согласовании.

Как следует из свойств направленного ответвителя, при неидеальном согласовании антенны и равных длинах питающих фидеров двух половин антенн, мощность отраженной волны от первой группы передатчиков (порт 1) поступает в другую диагональ к выходу второй группы передатчиков (порт 2). И наоборот, мощность отраженной волны от второй группы передатчиков (порт 2) поступает в другую диагональ к выходу первой группы передатчиков (порт 1).

При этом величина отраженной мощности равна коэффициенту отражения антенны. Другими словами, величина развязки S_{12} между широкополосными входами мостов сложения двух групп передатчиков равна коэффициенту отражения на входе главных фидеров [5].

$$\Gamma_{ant} = 20 * \log\left(\frac{KCB - 1}{KCB + 1}\right) \text{ (дБ)} \quad (1)$$

В частности, при $KCB = 1.2$ $S_{12} = \Gamma_{ant} = -20.8$ дБ.

Поскольку передатчики в каждой группе подключаются к антенне через мосты сложения с фильтрами, то величина Ротр на входе каждого передатчика уменьшится на величину коэффициента подавления соответствующего фильтра для частот передатчиков другой группы (стандартная величина для фильтров комбайнеров равна не менее 30 дБ).

Из вышеизложенного следует, что подключение передатчика к широкополосному входу без фильтра целесообразно только при достаточно хорошем согласовании.

При оценке взаимной развязки нужно также учитывать, что в двух разных группах могут быть передатчики с близкими частотами соседних каналов, которые по этой причине не могли быть размещены в одной группе. Эти частоты могут находиться на скате АЧХ собственных фильтров и иметь меньший коэффициент подавления.

2. Неравномерность деления мощностей передатчиков между выходами моста.

Особенностью работы направленного ответвителя на рисунке 7 является отсутствие балластной нагрузки в одном из портов. Поэтому, группа передатчиков, подключенных к порту 1 с частотами $f_{1,1} \dots f_{1,n}$ работает на мост, у которого порт 2 нагружен на комбайнеры с частотами пропускания второй группы передатчиков $f_{2,1} \dots f_{2,k}$, а частоты $f_{1,1} \dots f_{1,n}$ находятся в полосе подавления.

Таким образом, обе группы передатчиков работают на мост, у которого вместо согласованной балластной нагрузки в противоположенную диагональ включено практически чистое реактивное сопротивление Z_ϕ со стороны соответствующих фильтров комбайнера. С учетом произвольных длин соединительных линий нагрузка на разных частотах может принимать произвольные значения.

По этой причине амплитудно-фазовое распределение токов между двумя главными фидерами, т.е. между вертикальной и горизонтальной поляризацией (порты 3 и 4), носит сложный характер.

Рассматриваемый гибридный мост (3-х дБ направленный ответвитель) является направленным восьмиполосником 2-го типа.

Для него (рис. 7) удовлетворяется условие $S_{12}=S_{21}=0$, а вся матрица рассеяния имеет следующий вид [4]:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \beta & \alpha \\ 0 & 0 & \alpha & \beta \\ \beta & \alpha & 0 & 0 \\ \alpha & \beta & 0 & 0 \end{pmatrix}, \text{ где } \alpha = \frac{e^{-i\pi/2}}{\sqrt{2}}, \beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

После решения системы линейных уравнений, полученных из матрицы (2), относительно падающих и отраженных волн для портов 1-4 направленного ответвителя получена следующая формула для отношения амплитуд токов на выходе портов 3 и 4, т.е. амплитуд токов разных поляризаций.

$$T = \frac{I_3}{I_4} = i * \frac{1 + \Gamma_a^* \Gamma_t}{1 - \Gamma_a^* \Gamma_t} \quad (3)$$

где Γ_a – комплексный коэффициент отражения каждой из половин антенн в предположении их равенства;

Γ_t – комплексный коэффициент отражения со стороны выхода комбайнера другой группы передатчиков (порт 2) на частотах передатчиков порта 1. В данном случае питание идет со стороны порта 1.

Если принять $|\Gamma_t|=1$, то формула (3) преобразуется в формулу

$$|T| = \left| \frac{I_3}{I_4} \right| = i * \frac{1 + |\Gamma_a|}{1 - |\Gamma_a|} = KCB \quad (4)$$

Как было отмечено выше, реактивная нагрузка Z_ϕ на разных частотах может принимать произвольные значения.

По этой причине распределение токов между двумя главными фидерами, т.е. между вертикальной и горизонтальной поляризацией (порты 3 и 4), носит сложный характер.

На рисунке 8 приведен полученный из (3) 3-D график зависимости отношения абсолютных значений токов $|T| = \frac{|I_1|}{|I_2|}$

от фазы коэффициента отражения фидера (F_a) и фазы коэффициента отражения комбайнеров со стороны второго порта (F_t) [6].

График построен для значения КСВ фидера антенны, равного 1.2 с учетом того, что все возможные значения фазы коэффициента отражения лежат в пределах $0^\circ - 180^\circ$. Абсолютное значение коэффициента отражения со стороны порта 2 принято равным $|\Gamma_t|=1$ (практически чисто реактивное сопротивление).

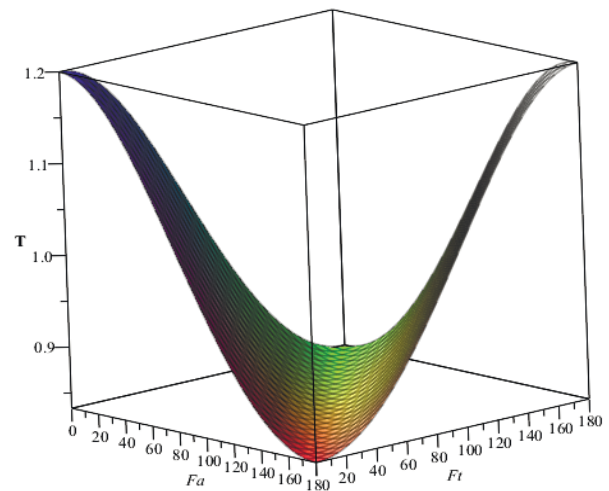


Рис. 8. график зависимости отношения абсолютных значений токов $|T| = \frac{|I_1|}{|I_2|}$ от фазы коэффициента отражения фидера (F_a) и фазы коэффициента отражения комбайнеров со стороны второго порта (F_t)

На графике (рис. 8) видно, что максимальный коэффициент неравномерности распределения токов на выходах моста равен величине КСВ.

На рисунке 9 приведен 3-D график зависимости разницы фаз в градусах токов I_1 и I_2 для тех же условий, что и на рисунке 8.

Анализ формулы (3) показал, что разница фаз между токами I_1 и I_2 при допустимых для работы передатчиков КСВ в первом приближении равен удвоенному коэффициенту отражения антенны в радианах.

$$\Delta\varphi \approx 2 * |\Gamma_a| \quad (\text{рад}). \quad (5)$$

В данном примере для КСВ=1.2 величина $\Gamma_a=0.091$. При этом $\Delta\varphi=2*0.091*57.3=10.4^\circ$.

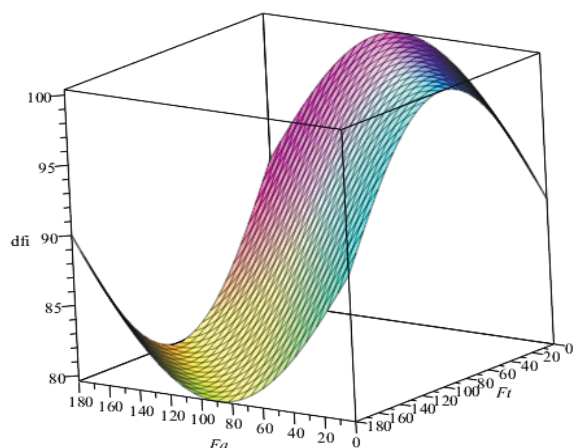


Рис. 9. График зависимости разницы фаз токов I1 и I2 (dfi) от фазы коэффициента отражения фидера (F_a) и фазы коэффициента отражения комбайнеров со стороны второго порта (F_t) (в градусах)

Сравнивая рисунки 8 и 9, видно, что участки с максимальным значением $|T|$ соответствуют минимальному отклонению разницы фаз токов от 90° и наоборот, в результате этого антенной для любых значений фаз F_a и F_t излучается эллиптическая поляризация с коэффициентом эллиптичности, равным $1/KCB$.

3. Согласование на входах моста.

В предложенной схеме происходит частичная взаимная компенсация отражений, приходящих со стороны двух половин антенн.

С этой точки зрения 3-дБ мост эквивалентен широко применяемой схеме с четвертьволновой вставкой в один из двух питающих фидеров. Наиболее полная компенсация отражений будет происходить при равенстве сопротивления обеих половин антенн, которые нагружают выходы моста.

Следует иметь в виду, что при свободном широкополосном входе и отсутствии в схеме фильтров, построенных по схеме «звезда», имеется возможность значительно улучшить согласование и развязку путем установки поглощающей нагрузки, куда будет уходить отраженная мощность (порядка -20дБ от общей мощности).

На рисунке 10 приведен график КСВ в диапазоне рабочих частот на входе 1 направленного ответвителя (рис. 6) со стороны первой группы передатчиков, снятый после реализации антенной системы.

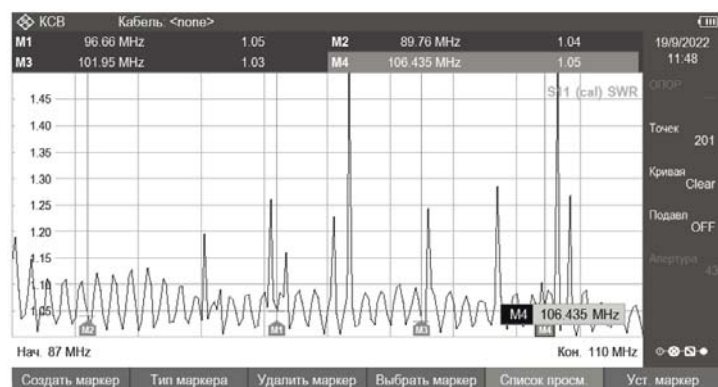


Рис. 10. График КСВ в диапазоне рабочих частот на входе 1 направленного ответвителя со стороны первой группы передатчиков

Результаты реализации предложенной схемы

Данная антенная система была реализована Челябинским ОРТПЦ в 2022 году.

На рисунках 11 и 12 представлены структурная схема организации вещания представленных и расположение антенной системы АМС РТПС Челябинск.

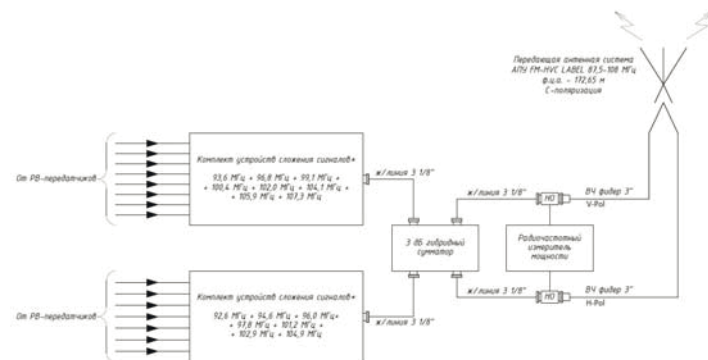


Рис. 11. Структурная схема организации вещания

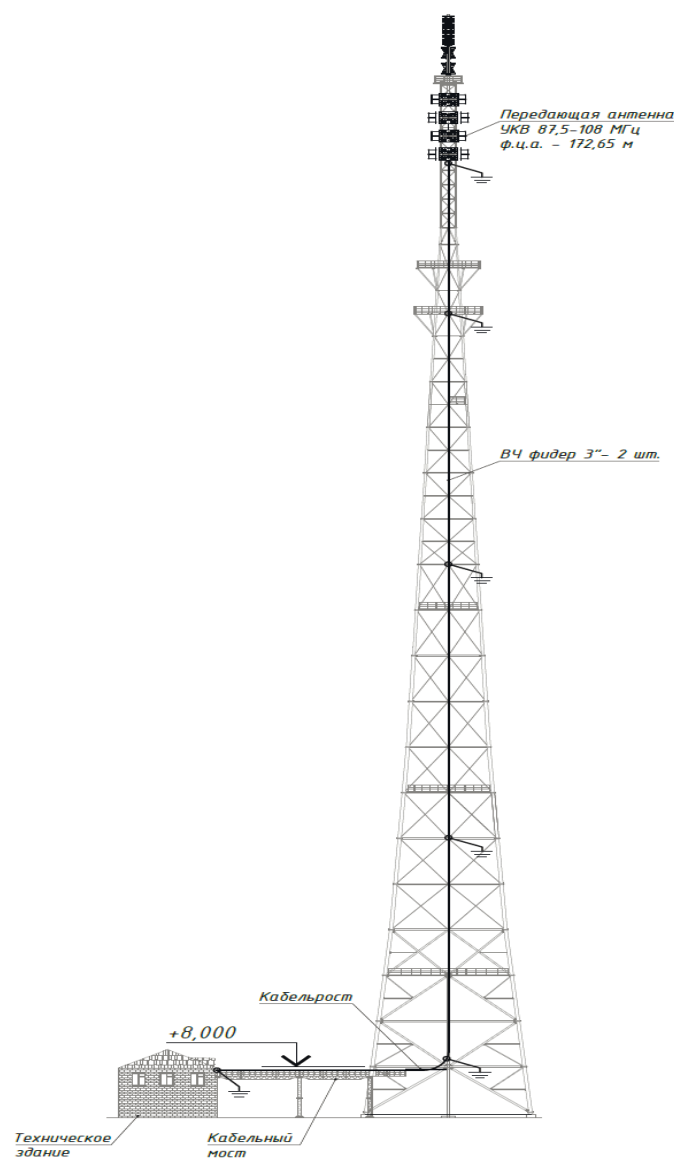


Рис. 12. Расположение антенной системы АМС РТПС Челябинск

После завершения проекта модернизации антенно-фидерного устройства в Челябинском ОРТПЦ, были проведены измерения параметров фидерных линий, квадратурного моста, а также проведены измерения параметров излучения РВ станций по г. Челябинску и окружной автодороге вокруг г. Челябинска.

Измерения подтвердили расчетные электрические характеристики антенной системы. КСВ на входе передатчиков и развязка между ними соответствовала ГОСТу на эти параметры.

В отчете Челябинского ОРТПЦ по результатам измерений отмечено:

1. В плотной городской застройке минимальный уровень напряженности поля радиовещательных передатчиков, работающих с новой антенной системы в одних и тех же точках измерений оказывается гораздо выше уровня сигнала передатчиков, работающих на другие антенны, размещенные на АМС.

При слуховом контроле вышеуказанных передатчиков в точках измерений не наблюдается искажения принимаемого сигнала.

2. При слуховом контроле РВ станций, работающих с антенн, имеющих линейную поляризацию (при прослушивании в автомобиле) существуют места, где наблюдаются интерференционные замирания сигнала в городской застройке (слышится шум). В этих же местах, при прослушивании радиостанций, вещающих с антенны с круговой поляризацией, подобных проблем замечено не было.

3. При слуховом контроле приема радиостанций, работающих с новой антенной системы круговой поляризации, внутри помещений зафиксировано отсутствие влияния расположения (ориентации) приемника/приемной антенны в пространстве. При этом для частот, работающих с антенн с линейной поляризацией ориентация приемника/приемной антенны в пространстве отражалась на качестве приема сигнала вплоть до отсутствия приема (перемещение между помещениями внутри здания).

4. При анализе графиков зависимости напряженности поля в точках измерений от типа поляризации антенны, можно сделать вывод о существенном уменьшении разницы напряженности поля между видами линейной поляризации приемной антенны (измерительная антенна DP-1). Поэтому, в условиях городской застройки, когда приемная антенна находится в точке измерений без прямой видимости излучающей антенны, и закрыта искусственными препятствиями, наблюдается значительное увеличение уровня напряженности сигнала, по сравнению с антеннами линейной поляризации, что положительно сказывается на качестве приема. В тоже время, при слуховом контроле передатчиков, работающих на антенны с линейными поляризациями в зоне с отсутствием прямой видимости и

наличием переотраженных сигналов, при слуховом контроле, наблюдаются значительные помехи приему, выражающиеся в появлении шумов/неразборчивости трансляции.

5. Новая антенная система обеспечивает уравнивание вещателей, предоставляя им максимально близкие по характеристикам зоны обслуживания, ликвидируются неравные условия оказания услуг действующим вещателям.

6. За время с августа по конец ноября 2022 года (перевод первых частот на новую антенну) филиал не имеет обращений с претензиями по качеству приема РВ-станций, работающих с новой антенной системы. Опрос технических директоров вещателей также подтверждает улучшение качества покрытия. Проблемных мест с приемом своих станций вещателями не найдено.

Литература

1. Варбанский А.М. Передающие телевизионные станции. М.: Связь, 1980. С. 23, 208, 214.
2. Отчет МККР 464-5* «Поляризация излучений в радиовещании с частотной модуляцией».
3. Шур «Ближний и дальний прием телевидения». С. 59-61.
4. Фельдштейн А.П., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Советское радио, 1967. С. 56-60.
5. Айзенберг Г.З., Белоусов С.П., Журбенко Э.М., Клигер Г.А., Курашев А.Г. Коротковолновые антенны, М.: Радио и связь, 1985. С. 11-12.
6. Анре Анго. Математика для электро и радиоинженеров. М.: Наука, 1967. С. 24-29.
7. Sazonov D.M. Microwave circuits and antennas. М.: Изд. Высшая школа, 1988. С. 129-135.
8. Каталог SIRA RADIO SYSTEMS. <https://siraradiosystems.com/categoria-prodotto/filters-and-combiners/>
9. Radiation pattern shaping for FM broadcast-optimizing coverage. 2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA), pp. 222-225. DOI: 10.1109/ISIEA.2010.5679465
10. Richard J. Cameron, Chandra M. KudsiaRaafat, R. Mansour. Multiplexer Theory and Design. Microwave Filters for Communication Systems, 2018, pp. 569-608. Doi: 10.1002/9781119292371.ch18.
11. Gerino Mappatao. Patterns of sidemount four-bay FM antenna system. April 2020. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control). DOI:10.12928/telkomnika.v18i2.14877
12. Каталог Kathrein. <https://www.kathrein-bca.com/en/products/kathrein-products/catalogues-and-brochures>. FM Antenna Systems. P. 14.
13. BBC Research Department. BBC RD 1986/13. "VHF-FM Radio Broadcasting: Tests to compare horizontal, vertical and mixed polarization", pp. 1-17.
14. Gregorac L., Schramm R. EBU Technical Review Winter 1992, pp. 1-15. https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_254-gregorac.pdf. "Comparsation between mixed and horizontal polarization vhf/fm sound broadcasting".
15. Recommendation ITU-R BS.1195-1. (01/2013). "Transmitting antenna characteristics at VHF and UHF".

THE ANTENNA SYSTEM FOR FM BROADCASTING WITH CIRCULAR POLARIZATION AND THE POSSIBILITY OF SIMULTANEOUS WORK BY TWO GROUPS OF TRANSMITTERS

Yuri A. Khmeluk, FSUE "Russian television and broadcasting network" (RTRN), Moscow, Russia, filu@yandex.ru

Felix D. Shusterman, FSUE "Russian television and broadcasting network" (RTRN), Moscow, Russia

Konstantin E. Sereda, FSUE "Russian television and broadcasting network" (RTRN), Moscow, Russia

Abstract

In large radio centers with a large number of broadcasting transmitters of the VHF band operating in the range of 87.5-108 MHz the most common type of antennas are panel antennas. The advantage of these antennas is a large capacity – up to hundreds of kilowatts, the ability to form radiation patterns of various shapes based on the characteristics of the service area, the distribution of population density in this zone and sanitary requirements for residential areas. To meet these requirements, in some cases, the use of antennas that occupy a significant place on masts is required. The implementation of these requirements often interferes with the absence of sufficient free space on masts. In addition, at large radio centers there is a serious problem of placing a large number of powerful FM broadcasting transmitters on one antenna. One of the reasons for the limitation of the number of transmitters is large losses in in-series included combiners. One of the ways to increase the number of transmitters working on one antenna is the use of panel antennas with a doubled number of dipole in each panel having different polarization – vertical and horizontal. Such antennas allow you to work simultaneously with two groups of transmitters with different polarizations on two feeders. The disadvantage of such a solution is that different radio stations operating on the same antenna with different linear polarizations in different conditions of propagation of radio waves at the same power can create different field levels at reception points, which puts them in unequal conditions. Such an antenna can also work with circular polarization but has the only input for only one group of transmitters. An antenna supply scheme is proposed which allows two independent groups of transmitters to work simultaneously on one antenna with circular polarization and use all the advantages of the propagation of circular polarization radio waves in urban conditions and with mobile reception.

Keywords: broadcasting, combiner, panel antennas, radiation pattern, circular polarization, directional coupler.

References

1. A.M. Varbansky "Transmitting television stations", Moscow: Svyaz, 1980, pp. 23, 208, 214.
2. CCIR Report 464-5* "Emission Polarization in FM Broadcasting".
3. Shur "Near and distant reception of television," pp. 59-61.
4. A.P. Feldstein, L.R. Yavich, V.P. Smirnov "Handbook of the elements of waveguide technology," Moscow: Soviet radio, 1967, pp. 56-60.
5. G.Z. Aizenberg, S.P. Belousov, E.M. Zhurbenko, G.A. Kliger, A.G. Kurashev. Shortwave Antennas, Moscow: Radio and Communications, 1985, pp. 11-12.
6. Andre Ango. Mathematics for electrical and radio engineers. Ed. "Science", 1967, pp. 24-29.
7. D.M. Sazonov. "Microwave circuits and antennas," Moscow: Ed. High School, 1988, pp. 129-135.
8. Catalog SIRA RADIO SYSTEMS. <https://siraradiosystems.com/categoria-prodotto/filters-and-combiners/>
9. Radiation pattern shaping for FM broadcast-optimizing coverage. 2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA) pp.222-225. DOI: 10.1109/ISIEA.2010.5679465
10. Richard J. Cameron, Chandra M. KudsiaRaafat, R. Mansour. Multiplexer Theory and Design. *Microwave Filters for Communication Systems*, 2018, pp. 569-608. Doi: 10.1002/9781119292371.ch18.
11. Gerino Mappatao. "Patterns of sidemount four-bay FM antenna system". April 2020. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) DOI:10.12928/telkomnika.v18i2.14877
12. Catalog Kathrein. <https://www.kathrein-bca.com/en/products/kathrein-products/catalogues-and-brochures>. FM Antenna Systems, p. 14.
13. BBC Research Department. BBC RD 1986/13. "VHF-FM Radio Broadcasting: Tests to compare horizontal, vertical and mixed polarization", pp. 1-17.
14. L. Gregorac, R. Schramm. EBU Technical Review Winter 1992, pp.1-15. https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_254-gregorac.pdf. "Comparation between mixed and horizontal polarization vhf/fm sound broadcasting".
15. Recommendation ITU-R BS.1195-1. (01/2013). "Transmitting antenna characteristics at VHF and UHF".

Information about authors:

Yuri A. Khmeluk, Deputy Director of the Department, FSUE "Russian television and broadcasting network" (RTRN), Moscow, Russia

Felix D. Shusterman, Head of Section, FSUE "Russian television and broadcasting network" (RTRN), Moscow, Russia

Konstantin E. Sereda, Head of Laboratory, FSUE "Russian television and broadcasting network" (RTRN), Moscow, Russia