

УДК 621.396.712

**ОСОБЕННОСТИ ЧМ ПРИЕМА ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ DRM+ ПЕРЕДАТЧИКА В ЗОНЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ С ЧМ**

А.В. ВЫХОДЕЦ, А.А. ВЫХОДЕЦ

Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова  
ГП “Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения”

**PARTICULAR FM RECEPTION WHEN DRM+ TRANSMITTER IS PLACING IN SERVICE AREA TRANSMITTERS WITH FM**

A.V. VYKHODETS, A.A. VYKHODETS

Odessa National Academy of Telecommunications n.a. O.S. Popov  
SE “Ukrainian scientific-research institute of radio and television”

*Аннотация.* В статье рассматриваются искажения ЧМ приема при работе передатчика DRM+ в окружении передатчиков с ЧМ.

*Abstract.* In the article distortions of FM reception when transmitter DRM+ is surrounded by FM transmitters are considered.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в радиовещании, наряду с ростом интереса к улучшению качества звука, возрастает потребность к различного рода услугам. Использование цифровой технологии при реализации систем радиовещания способно решить возникшие проблемы.

В ряде стран (Германия, Швейцария, Англия и др.) широкое применение нашла наземная цифровая система T-DAB (DAB+), позволяющая в одном мультиплексе передавать до 30 программ вещания (DAB+).

При дальнейшем распространении цифровой системы T-DAB (DAB+) учитывают, что полное использование мультиплекса системы возможно только в крупных населенных пунктах. По этой причине система T-DAB (DAB+) мало эффективна для обеспечения вещанием небольших городов, районов и сельских населенных пунктов. Для перечисленных населенных пунктов большой контент избыточен. В этом случае более подходящими будут системы цифрового вещания с небольшим количеством программ

В настоящее время в Европе, в том числе и в Украине, наиболее развита аналоговая сеть МВ-ЧМ вещания в диапазоне 87,5–108 МГц. В Украине в этом диапазоне работают более 1500 МВ-ЧМ передатчиков. Качество аналогового стереофонического вещания достаточно высоко, количество носимых и автомобильных приемников практически полностью обеспечивает потребности населения и подавляющее большинство стран Европы, по крайней мере, в течение 10 лет, намерено продолжить аналоговое стереофоническое вещание с пилот-тоном [1].

Учитывая то, что цифровая техника все шире используется во всем мире, неизбежна и цифровизация диапазона с ЧМ. Очевидно, цифровые системы в течение некоторого времени будут сосуществовать с аналоговой системой МВ-ЧМ вещания, используя диапазон 87,5-108 МГц в большинстве стран Северной и Южной Америки в качестве альтернативы МВ-ЧМ вещанию рассматривается цифровая система IBOC (HD Radio) [2]. В Европе в качестве такой альтернативы рассматривается цифровая система DRM+.

**ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА НАЗЕМНОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM+**

Система DRM+ является проектом Консорциума DRM по расширению возможности стандарта DRM, направленной на его применение в частотных диапазонах выше 30 МГц (47...68, 66...74, 87,5...108 МГц) [3,4]

В 2009 г. на базе стандарта DRM был разработан стандарт DRM+. В объединенном стандарте DRM параметры системы DRM+ имеют буквенное обозначение “E” [3].

Параметры системы позволяют гибко перестраиваться под формат вещания (местные, региональные станции), строить синхронные сети различных конфигураций, а также работать в условиях сложной помеховой обстановки.

Основные технические характеристики системы представлены в табл. 1

Таблица 1 – Технические параметры системы DRM режим E

Параметр	Значение
Модуляция OFDM частот несущих колебаний	4-КАМ, 16-КАМ
Количество частот несущих колебаний	213
Расстояние между частотами несущего колебания	444,444 Гц
Ширина полосы цифрового сигнала	96 кГц
Суммарная длительность OFDM символа, $T_s$	2,5 мс
Длительность полезной части OFDM символа, $T_u$	2,25 мс
Длительность защитного интервала, $T_g$	0,25 мс
Скорость передачи данных	37–186 кбит/с
Скорость сверточного кода	0,25–0,625
Количество каналов	1–4

В зависимости от способа модуляции OFDM символа (4-КАМ, 16-КАМ) система DRM+ обеспечивает скорость цифрового потока от 37 кбит/с до 186 кбит/с [3]. В цифровом потоке равном 186 кбит/с можно организовать передачу 4-х высококачественных стереофонических программ.

Полоса частот, которую занимает цифровой сигнал системы DRM+, равна 96 кГц. Поэтому, система практически совместима с системой звукового ОБЧ-ЧМ вещания, в которой разнос между несущими частотами составляет 400 кГц.

Одной из проблем при организации работы системы DRM+ в диапазоне МВ является вопрос размещения спектра нового сигнала в частотном диапазоне, выделенном для существующей системы МВ-ЧМ.

Размещение спектров сигналов режима E системы DRM+ и спектров сигналов МВ-ЧМ в одном частотном диапазоне могут быть разными и меняются в зависимости от условий реального использования. При наличии свободных частот передатчик DRM+ может быть размещен в зоне обслуживания МВ-ЧМ передатчиков. При отсутствии свободных частот осуществляют замену одного из МВ-ЧМ передатчика на передатчик DRM+. В обоих случаях при выборе мощности передатчика DRM+ должны быть соблюдены требования электрической совместимости.

В работах [4,5] приведены другие рекомендации по размещении цифровых передатчиков DRM+ На рис.1 показана схема размещения спектра сигнала DRM+ (режим E) в диапазоне частот 87,5-108 МГц. Как видно из рис.1 разнос по частоте между спектрами МВ-ЧМ и спектром DRM+ составляет около 50 кГц. Исходя из значений защитных отношений, приведенных в таблице 1, устанавливаются мощности передающих устройств.

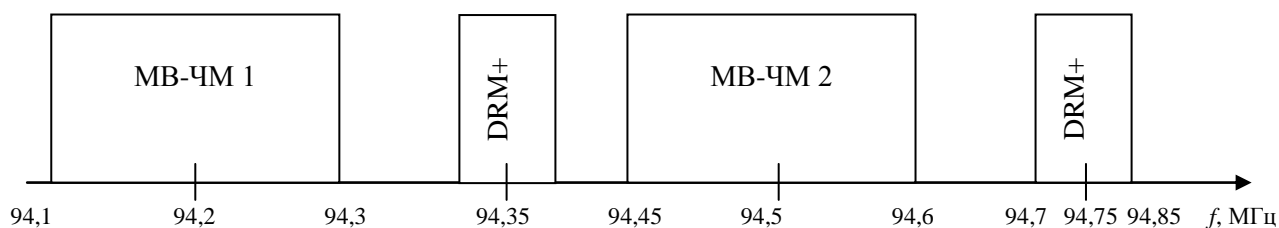


Рисунок 1 – Спектр сигналов цифрового радиовещания DRM+ в диапазоне МВ

Спектр сигнала DRM (режим E) относительно спектра сигналов с ЧМ может быть размещен и другим способом. Частотное разнесение выбирается с шагом 50 кГц, однако, наименьшее значение разноса – 150 кГц. Разность мощностей передатчиков  $\Delta P$  может изменяться в определенных пределах. Рекомендованным значением при  $\Delta f = 150$  кГц является разность мощностей передатчика МВ-ЧМ ( $P_{\text{ЧМ}}$ ) и передатчика DRM+ ( $P_{\text{DRM+}}$ )  $\Delta P \geq 20$  дБ. Спектр DRM+( режим E) может размещаться по частоте как ниже, так и выше спектра МВ-ЧМ.

На рис.2 показано соответствующее размещение спектра DRM+.

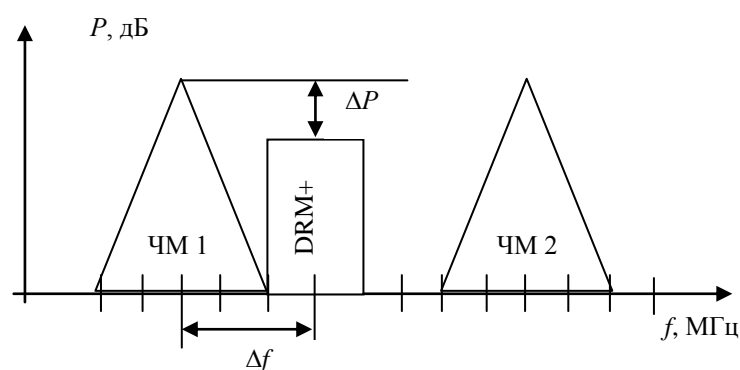


Рисунок 2 – Размещение спектра DRM+ между МВ-ЧМ станциями при  $\Delta f = 150$  кГц

Уровень помехи на входе приемника определяется, в основном, частотным разнесом  $\Delta f$  несущих частот. При малом разнесе прием сопровождается помехой в паузе модуляции и искажениями звуковоспроизведения.

В табл. 1 приведены значения защитных отношений по радиочастоте ( $\Delta P$ ) для полезного DRM+ и мешающего МВ-ЧМ сигнала и полезного МВ-ЧМ сигнала и мешающего DRM+, при которых уровень помехи звуковоспроизведению не превышает заданных значений.

Таблица 1 – Защитные отношения для DRM+ (КАМ-4) и DRM+ (КАМ-16) в присутствии мешающего сигнала МВ-ЧМ и защитные отношения для МВ-ЧМ в присутствии мешающего сигнала DRM+ (КАМ-16)

Частотное разнесение, кГц	Защитное отношение DRM+ (КАМ-4) – полезный, МВ-ЧМ – мешающий сигнал, дБ	Защитное отношение DRM+ (КАМ-16) – полезный, МВ-ЧМ – мешающий сигнал, дБ	Защитное отношение МВ-ЧМ – полезный, DRM+ – мешающий сигнал, дБ
0	16,1	26,2	50
25	15,6	25,7	49
50	13,1	23,2	46,5
75	6,1	16,2	45
100	-6,6	3,5	38
125	-20	-16	24,5
150	-30	-32	8
175	-35	-35	0
200	-40	-40	-8
250	< -40	< -40	-15
300	< -40	< -40	-20
350	< -40	< -40	-25
400	< -40	< -40	-30

Дальнейшие исследования цифровой системы DRM+ показали, что система является другим потенциальным источником помехи системе МВ-ЧМ радиовещания. Эту помеху называют "эффектом перекрестной модуляции". В сети, в которой работают только МВ-ЧМ передатчики, такая помеха приему отсутствует [5,6].

### ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ ПОМЕХА "ЭФФЕКТ ПЕРЕКРЕСТНОЙ МОДУЛЯЦИИ"

Влияние этой помехи на ЧМ прием зависит только от уровня сигнала передатчика DRM+ и не зависит от уровня полезного сигнала передатчика МВ-ЧМ. Показано, что влияние помехи на качество ЧМ приема определяется разностью частот  $\Delta f$  между полезным МВ-ЧМ передатчиком и мешающим передатчиком DRM+ в диапазоне от 200кГц до 4 МГц.

В случае, если разность частот  $\Delta f$  будет находиться в пределах указанного диапазона и уровень помехи на входе ЧМ приемника будет ниже значений, приведенных в табл.2, качество приема не ухудшится. При превышении этих уровней будет наблюдаться ухудшение качество ЧМ приема. Этот эффект не зависит от значений защитных отношений, приведенных в табл.1, так как интерференционная помеха зависит только от абсолютного уровня сигнала DRM+ и не зависит от уровня полезного сигнала [6]

Таблица 2 – Максимально допустимые значения уровней сигнала интерференционной помехи

Разность частот	МГц	0,2–1	2	3	4
Максимальный допустимый уровень Сигнала интерференционной помехи	дБм	–31	–24	–15	–9

С учетом этого можно отметить, что увеличение уровня полезного сигнала не устраняет помеху ЧМ приему

Одним из объяснений эффекта перекрестной модуляции является влияние нелинейности входной характеристики ЧМ приемника, подчиняющейся кубическому закону [6].

Пусть входная амплитудная характеристика  $y = x + a_3 x^3$ . Тогда, если входной сигнал  $x = x_f + x_g$  где  $x_f$  несущая ЧМ передатчика, а  $x_g$  – сигнал передатчика DRM+, то на выходе усилителя промежуточной частоты ЧМ приемника сигнал  $y_3$  будет пропорционален  $a_3 x_f x_g^2$ . Отношение полезного сигнала к помехе  $a = x_f / a_3 x_f x_g^2 = 1 / a_3 x_g^2$  не зависит от уровня полезного сигнала и пропорционально квадрату уровня помехи. В работе [6] показано, что на эффект перекрестной модуляции влияют и другие факторы.

### ТЕСТОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ПЕРЕДАТЧИКА DRM+ В ЗОНЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ МВ-ЧМ ПЕРЕДАТЧИКАМИ

В Швеции, Великобритании, Германии проводились исследования возможности работы DRM+ передатчика в окружении МВ-ЧМ передатчиков [5,6]. В Германии при проведении испытаний использовали два варианта: размещение нового DRM+ передатчика и замена работающего МВ-ЧМ передатчика на передатчик DRM+. Новый DRM+ передатчик мощностью 20дБВт на новой частоте 88,6 МГц был установлен в городе Франкфурте [6]. Использовалась модуляция 4-КАМ, 1/3 и 16-КАМ, 1/2. Эффективная высота антенны – 90м. Передатчик DRM+ располагался вблизи трех МВ-ЧМ передатчиков с частотами  $f_1=88,4$  МГц,  $f_2 = 89,3$  МГц и  $f_3 = 87,9$  МГц и удовлетворял условиям совместимости (табл.1).

Площадь покрытия вещанием, осуществляемая передатчиком DRM+, по сравнению с передатчиком МВ-ЧМ несколько увеличилась. Как показали измерения, в зоне обслуживания передатчика DRM+ осуществлялся уверенный прием на мобильные и носимые приемники. Поскольку параметры нового передатчика DRM+ устанавливались с учетом требований совместимости (табл.1) помехи ЧМ приему со стороны этого передатчика не должны были бы быть.

Однако следует учитывать чувствительность ЧМ приемников к эффекту перекрестной модуляции. Если уровень сигнала этой помехи превышает максимальное допустимое значение (табл.1) [5] то при разности частот мешающего цифрового передатчика и полезных МВ-ЧМ передатчиков равной 0,2–4МГц, при ЧМ приеме сигналов, этих передатчиков, возникнут искажения. Разность частот между этими передатчиками равна 0,2 МГц, 0,7 МГц и 0,7 МГц и при приеме сигналов передатчиков с частотами  $f_2$  и  $f_3$  возможно появление искажений. Как показали измерения, вследствие эффекта перекрестной модуляции ухудшение приема наблюдалось на значительной части территории города Франкфурта.

Замена передатчика МВ-ЧМ на передатчик DRM+ осуществлялась вблизи г.Франкфурта (Grosser Feldberg Taunus). Излучаемая мощность нового передатчика составляла 40 дБВт, что на 10дБВт меньше мощности заменяемого передатчика, частота несущей – 80,3 МГц. Эффективная высота антенны равнялась 968 м. Передатчик DRM+ удовлетворял условиям совместимости (табл.1).

Измерения показали, что передатчик DRM+ с мощностью пониженной на 10дБВт по сравнению с мощностью передатчика МВ-ЧМ обеспечивает площадь покрытия практически одинаковую с покрытием передатчика МВ-ЧМ. Как и в предыдущем случае, размещение нового передатчика DRM+ с характеристиками, обеспечивающими совместимость с окружающими передатчиками МВ-ЧМ не должно создавать помех ЧМ приему. Как и в предыдущем случае остается проблема чувствительности ЧМ приемников к эффекту перекрестной модуляции. Однако в рассматриваемом случае влияние этого эффекта не наблюдалось. Причина заключалась в том, что в непосредственной близости к передатчику DRM+ не оказалось передатчиков МВ-ЧМ с частотами, обеспечивающими разность частот в интервале 0,2–4МГц.

Таким образом, даже при окружении передатчика DRM+ передатчиками МВ-ЧМ в исключительных случаях при удачном выборе частоты несущей цифрового передатчика можно обеспечить нормальный ЧМ прием. При этом зона обслуживания DRM+ передатчика может быть сравнимой с

ЧМ передатчиком. Однако требование выделения нужной частоты в условиях полностью используемого спектра службой ЧМ в общем случае может оказаться невыполнимым.

### ВЫВОДЫ

Были проведены исследования по размещению передатчика DRM+ в зоне обслуживания ЧМ передатчиками. Показано, что в общем случае для того, чтобы избежать появления помех ЧМ приему из-за эффекта перекрестной модуляции, новый передатчик DRM+ не должен размещаться вблизи ЧМ передатчиков с несущими частотами, образующих разность с частотой передатчика DRM+ в пределах 0,2–4 МГц. Однако это условие может оказаться невыполнимым при использовании передатчиков DRM+ во всем диапазоне с ЧМ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аналоговое и цифровое радиовещание / [А.В.Выходец, С.Н.Ганжа, А.С.Кузнецова, А.А.Выходец] под ред. проф. А.В.Выходца – Одесса: ВМВ, 2011. – 312с.
2. ITU-R Document 6E/22 Digital system C. System description.
3. ETSI EN 201 980 V3.1.1 (2009 – 08) Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification.
4. Digital radio Mondiale (DRM). A broadcaster's guide. Geneve, Switzerland.
5. Andreas Stell, Felix Schad, Michael Fellen ,Ewald Hedrich DRM+ Field Trial: Concept, Setup, and First Results. University of Applied Sciences of Kaiserslautern.
6. EBU TRCH 3357 Case studies on the implementation of DRM+ IN BAND II. Geneva, January 20013.