

**ИСКАЖЕНИЯ ПРИЕМА ПРИ РАБОТЕ ПЕРЕДАТЧИКОВ  
СОВМЕСТНОГО АНАЛОГОВОГО И ЦИФРОВОГО DRM  
ЗВУКОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ В СИНХРОННОМ РЕЖИМЕ**

**Выходец А.В., Кузнецова А.С., Ганжа С.Н.**

**DISTORTIONS OF RECEPTION DURING OPERATING OF  
TRANSMITTERS WITH SIMULCAST ANALOG AND DIGITAL DRM  
SOUND BROADCASTING IN THE SYNCHRONOUS MODE**

**Vykhodets A.V., Kuznetsova A.S., Ganzha S.N.**

ОНАС им. А.С. Попова

Цифровой сигнал в формате DRM предназначен для использования в полосе вещания АМ-сигнала [1]. Совместную (аналого-цифровую) передачу как услугу, использующую DRM и АМ вещание, могут представлять расположенные рядом по частоте аналоговый АМ сигнал и цифровой сигнал системы DRM.

Совместная передача (simulcast) аналогового и цифрового сигналов – это возможность сохранения аналогового АМ вещания при быстром введении DRM вещания. В этом случае появляется возможность использования эксплуатируемых в настоящее время АМ передатчиков и антенн.

Большой объем как лабораторных, так и полевых испытаний был выполнен для определения оптимального уровня DRM сигнала, требуемого для обеспечения хорошего качества DRM обслуживания при избежании заметного влияния на аналоговую АМ передачу.

В результате было выявлено, что желаемое качество может быть достигнуто тогда, когда уровень мощности DRM сигнала примерно на 14-16 дБ ниже, чем у смежного аналогового сигнала. В этом случае можно передавать и аналоговый, и цифровой сигнал в пределах одного канала (9 или 10 кГц), таким образом, что аналоговые программы будут приниматься без помех со стороны цифрового сигнала на любой аналоговый приемник. В то же время возможен и цифровой прием с высоким качеством. Хотя перспективы совместной передачи довольно многообещающие, все же в этом случае придется идти на некоторые компромиссы. Среди них – уменьшенная скорость передачи цифровых сигналов, что неблагоприятно скажется на качестве звука. Кроме того, сокращается зона обслуживания. В случае приема в аналоговом режиме из-за присутствия цифрового сигнала несколько изменится уровень фоновый шума и степень такого влияния будет определяться конструкцией аналогового приемника.

Радиосигнал совместной системы аналогового и цифрового DRM вещания

Пусть передается АМ аналоговый ДБП радиосигнал в полосе 10 кГц и однополосный OFDM сигнал [1] в полосе 5 кГц (рис.1, б).

Представим аналоговый сигнал тригонометрическим рядом:

$$U_c = \sum_{i=1}^M c_i \cos(\Omega_i t + \varphi_i). \quad (1)$$

Сигнал OFDM на интервале  $(0, T_S)$  [1]:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} [a_k \cos 2\pi f_k t - b_k \sin 2\pi f_k t], \quad (2)$$

где  $f_k = f_0 + \frac{k}{T_S}$ ;  $T_S$  – длительность полезной части OFDM символа;

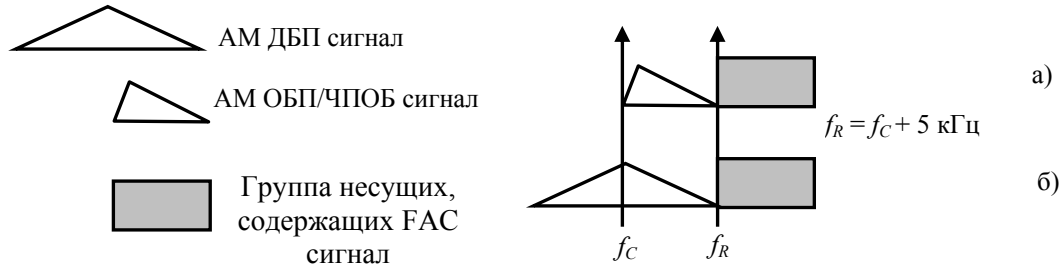


Рисунок 1 – Пример использования радиоканала при совместной передаче AM и DRM радиосигналов

$f_0$  – граничная частота.

Выражение (2) можно представить как

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cos(2\pi f_k t + \varphi_k), \quad (3)$$

где  $c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ ;  $\varphi_k = \arctg \frac{b_k}{a_k}$ .

На выходе модулятора передатчика при передаче однополосного колебания

$$U_{\text{оп}} = aU_0 \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cos[2\pi(f_k + f_R)t + \varphi_k], \quad (4)$$

где  $f_R = f_c + 5 \text{ кГц}$  (рис. 1);

$a$  – коэффициент, учитывающий снижение мощности DRM сигнала.

На входе приемника сигнал совместной передачи AM и DRM сигналов будет иметь вид

$$U_{\text{ин}} = U_{01} \left\{ \left[ 1 + m_i \sum_{i=1}^M \cos(\Omega_i t + \varphi_i) \right] \cos \omega_c t + a \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cos[2\pi(f_k + f_R)t + \varphi_k] \right\}, \quad (5)$$

$\omega_c = 2\pi f_c$ ,  $\Omega_i = 2\pi f_i$ .

Синхронная сеть передатчиков гибридной системы аналогового и DRM вещания

Пусть приемник находится на расстоянии  $r_1$  от передатчика  $\Pi_1$  и на расстоянии  $r_2$  от передатчика  $\Pi_2$ . Оба передатчика работают в синхронной сети. Отнесем задержки радиосигнала и модулирующих сигналов ко 2-му передатчику. Тогда на входе приемника сигнал, создаваемый передатчиком  $\Pi_2$  можно представить в виде

$$U_{2\text{н}} = U_{02} \left\{ \left[ 1 + \sum_{i=0}^M m_i \cos(\Omega_i(t - t_i) + \varphi_i) \right] \cos \omega_c(t - \tau) + a \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cos 2\pi[f_k(t - t_i) + f_R(t - \tau)] \right\}, \quad (6)$$

где  $\tau = \frac{r_1 - r_2}{c}$ ,  $t_1 = \tau + \tau_0$ ,  $\tau_0$  – задержка, обусловленная разным временем прихода сигналов звука от студии к передатчикам.

Результирующее напряжение аналогового АМ сигнала

$$U_p = U_{1н} + U_{2н} = U_{01} \left\{ \left[ 1 + \sum_{i=0}^M m_i \cos(\Omega_i t + \varphi_i) \right] \cos \omega_c t + A \left[ 1 + \sum_{i=0}^M m_i \cos(\Omega_i (t - t_1) + \varphi_i) \right] \cos \omega_c (t - \tau) \right\}, \quad (7)$$

где  $A = \frac{U_{02}}{U_{01}}$ .

Мгновенное значение результирующего напряжения при снятии модуляции

$$U_p = U_{01} \sqrt{1 + A^2 + 2A \cos \omega_c \tau \cos(\omega_c t - \varphi_1)}, \quad (8)$$

где  $\varphi_1 = \text{arctg} \frac{A \sin \omega_c \tau}{1 + A \cos \omega_c \tau}$ .

Как видно из формулы, в пространстве между станциями в результате интерференции несущих колебаний образуются стоячие волны. Узлы и пучности стоячей волны повторяются через интервалы, равные  $\lambda/2$ . В пространстве между станциями, где  $A \approx 1$ , напряженность поля в узлах равна нулю. При уменьшении  $A$ , т.е. при приближении приемника к одной или другой станции, колебания напряженности поля уменьшаются. При передаче станциями модулированных колебаний интерференционная картина усложнится за счет появления стоячих волн в результате интерференции боковых электромагнитных колебаний.

После несложных преобразований можно показать, что суммарное колебание нижних боковых частот двух радиостанций создаст на входе приемника напряжение

$$U_{\text{рнб}} = \frac{1}{2} U_{01} \sum_{i=1}^M m_i \sqrt{1 + A^2 + 2A \cos[(\omega_c - \Omega_i)\tau + \Omega_i t_1]} \cos[(\omega_c - \Omega_i)t + \varphi_{\text{рнб}}], \quad (9)$$

где  $\varphi_{\text{рнб}} = \text{arctg} \frac{A \sum_{i=1}^M \sin[(\omega_c - \Omega_i)\tau + \Omega_i t_1]}{1 + A \sum_{i=1}^M \cos[(\omega_c - \Omega_i)\tau + \Omega_i t_1]}$ .

Напряжение результирующего колебания верхних боковых частот

$$U_{\text{рвб}} = \frac{1}{2} U_{01} \sum_{i=1}^M m_i \sqrt{1 + A^2 + 2A \cos[(\omega_c + \Omega_i)\tau - \Omega_i t_1]} \cos[(\omega_c + \Omega_i)t + \varphi_{\text{рвб}}], \quad (10)$$

где  $\varphi_{\text{рвб}} = \text{arctg} \frac{A \sum_{i=1}^M \sin[(\omega_c + \Omega_i)\tau - \Omega_i t_1]}{1 + A \sum_{i=1}^M \cos[(\omega_c + \Omega_i)\tau - \Omega_i t_1]}$ .

Формулы (9) и (10) показывают наличие асимметрии боковых составляющих и по фазе и по амплитуде. Это приводит к появлению линейных и нелинейных искажений [2].

Результирующее напряжение DRM сигнала

$$U_{DRM} = U_{01} a \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cos[2\pi(f_k + f_R)t + \varphi_k] + A \sum_{ki=0}^{N-1} c_k \cos 2\pi[f_k(t - t_1) + f_R(t - \tau)] \right\}. \quad (11)$$

В приемнике квадратурно модулированное однополосное колебание (11) подается на вход синхронного детектора. В результате получим

$$U_{DRM} = \frac{1}{2} a U_{01} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} [a_k \cos 2\pi f_k + b_k \sin 2\pi f_k] + A \sum_{k=0}^{N-1} [\cos 2\pi f_R \tau \cdot a_k \cos 2\pi f_k (t - t_1) + \sin 2\pi f_R \tau \cdot b_k \sin 2\pi f_k (t - t_1)] \right\} \quad (12)$$

Из формулы (12) следует, что при значении  $t_1$ , меньшем значения защитного интервала OFDM символа  $T_d$  сигналы DRM складываются конструктивно.

При совместной передаче однополосного аналогового и DRM сигналов (рис. 1, а) в синхронной сети особенности передачи сигналов DRM сохраняются (12), а искажения аналогового сигнала будут иными.

Результирующее колебание при передаче аналогового сигнала

$$U_{p \text{ on}} = U_{01} \left\{ \sum_{i=1}^M m_i \cos(\omega_c + \Omega_i)t + A \sum_{i=1}^M m_i \cos[\omega_c(t - \tau) + \Omega_i(t - t_1)] \right\}. \quad (13)$$

На выходе синхронного детектора получим

$$U_{p \text{ on}} = \frac{1}{2} U_{01} \sum_{i=1}^M m_i \sqrt{1 + A^2 \cos^2 \omega_c \tau + 2A \cos \omega_c \tau \cos \Omega_i t_1} \cos(\Omega_i t + \varphi_i), \quad (14)$$

$$\text{где } \varphi_i = \frac{A \cos \omega_c \tau \sin \Omega_i t_1}{1 + A \cos \omega_c \tau \cos \Omega_i t_1}.$$

Из выражения (14) следует, что прием в синхронной сети будет сопровождаться только линейными искажениями.

В синхронной сети при совместной передаче аналоговых АМ и DRM радиосигналов возникает зона интерференционных искажений. Характер искажений такой же, какой наблюдается в синхронной сети при передаче только аналоговых АМ сигналов.

В движущемся автомобиле прием будет сопровождаться периодическими изменениями уровня радиосигнала и сопутствующими изменениями качества звучания.

При несущей частоте передатчика  $f_c = 1$  МГц и скорости автомобиля 90 км/ч, чередование максимумов и минимумов напряженности поля будут возникать с интервалом, равным 10 с. С таким же периодом будут появляться частотные и нелинейные искажения аналогового сигнала, из-за асимметрии боковых колебаний.

Вероятно в этом случае можно сохранить норму защитного отношения по радиочастоте  $A = 8$  дБ, которая была принята для аналогового синхронного радиовещания [2].

При приеме DRM сигналов на качестве приема будут сказываться только колебания напряженности поля. Возможен и срыв приема при значениях  $A$ , близких к 1.

Особенностью приема DRM сигналов является то, что с одной стороны при увеличении значения  $A$  увеличивается сетевое усиление (11), а с другой – увеличивается глубина колебаний напряженности поля и искажений приема.

Очевидно стабильный прием будет происходить при малых значениях  $A$  и при этом сетевое усиление будет небольшим.

Для синхронной сети типичным видом эхо-сигналов являются сигналы от соседних передатчиков, работающих на одной и той же частоте и передающих одинаковые символы COFDM. Эти эхо-сигналы не создадут помех, если будут поступать на приемник в период защитного интервала. Чем больше защитный интервал, тем больше допустимое расстояние между передатчиками. С другой стороны, длительность защитного интервала не следует выбирать большой, так как это приведет к уменьшению объема передаваемой информации. В ряде случаев оказывается выгодным использовать несколько близко расположенных маломощных передатчиков вместо одного мощного, при котором не удастся избежать зон неуверенного приема в общей зоне обслуживания.

Эффективное использование защитного интервала возможно только при жесткой временной синхронизации всех передатчиков сети. В случае синхронной сети требования к точности и стабильности рабочей частоты возрастают. Важно также обеспечивать строго синхронное излучение всеми передатчиками одного и того же символа. При недостаточной синхронизации символ, передаваемый одним передатчиком, сместится во времени относительно остальных, а это эквивалентно уменьшению на такую же величину защитного интервала.

Литература:

1 Цифровое звуковое радиовещание / А.В. Выходец, С.Н. Ганжа, А.В. Лапин; Под ред. Н.К. Михайлова. – Одесса: «Фенікс», 2006. – 272 с.

2 Справочник по радиовещанию / А.В. Выходец, В.М. Захарин и др.; Под ред. А.В. Выходца. – К.: Техніка, 1981. – 263 с.