

УДК 621.394.14

© Гайчук Д.В., Белоконь А.В., Белоконь Л.В.
Gajchuk D.V., Belokon A.V., Belokon L.V.

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К АНСАМБЛЯМ СИГНАЛОВ-ПЕРЕНОСЧИКОВ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХЛУЧЕВЫХ ДКМ РАДИОКАНАЛАХ

WORKING OUT OF REQUIREMENTS TO ENSEMBLES OF SIGNALS-CARRIERS OF THE INFORMATION IN TWO-BEAM SHORT-WAVE RADIO CHANNELS

Аннотация. Эффективным средством борьбы с замираниями, вызванными дискретной многолучевостью, является разнесенный прием с разделением лучей по времени прихода и последующим их сложением. Целью статьи является разработка требований к сигналам-переносчикам для схемы приема двоичных сигналов по методу квадратичного суммирования с учетом условий распространения радиоволн и помеховой обстановки в ДКМ диапазоне.

Annotation. Effective remedy of struggle with to become transfixed, caused discrete multibeams, is the carried reception with division of beams on time of arrival and their subsequent addition. Article purpose is working out of requirements to signals-carriers for the scheme of reception of binary signals on a method of square-law summation taking into account conditions of distribution of radio-waves and handicap conditions in Short-wave a range.

Ключевые слова. Сигналы-переносчики, требования к сигналам, ансамбль дискретных ортогональных в усиленном смысле сигналов.

Key words. Signals-carriers, requirements to signals, ensemble of discrete orthogonal signals in the strengthened sense.

Наиболее неблагоприятными с точки зрения характера замираний являются двухлучевые модели распространения радиоволн с лучами сравнимой интенсивности [2]. Это обусловлено тем, что при интерференции двух дискретных лучей характер замираний результирующего сигнала становится хуже релейских в том отношении, что увеличивается вероятность наиболее опасных малых значений амплитуды принимаемого сигнала. При этом результирующая амплитуда распределена по подрелейскому закону, который в пределе сводится к односторонне-нормальному закону (описывающему наиболее глубокие замирания амплитуд принимаемого сигнала).

Известно [1, 3, 4, 5], что оптимальными сигналами для каналов с неопределенной фазой принимаемых

сигналов являются сигналы ортогональные в усиленном смысле. Поэтому далее рассмотрим только этот класс сигналов.

Прежде всего отметим, что передающее антенно-фидерное оборудование и передатчики ДКМ диапазона характеризуются тем, что они должны быть рассчитаны на передачу электрических сигналов большой мощности. Это объясняется высоким уровнем мультипликативных помех в ДКМ диапазоне. Величина пиковой мощности непосредственно не влияет на вероятность ошибки. Но если пиковая мощность передатчика ограничена, то для повышения помехоустойчивости следует выбирать форму сигналов такой, чтобы при заданной пиковой мощности обеспечивалась наибольшая возможная средняя

Гайчук Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры автоматизированных сетей связи Ставропольского военного института связи Ракетных войск, тел. 8-962-741-54-80;

Белоконь Александр Викторович, преподаватель кафедры систем защиты информации и безопасности связи Ставропольского военного института связи Ракетных войск, тел. 8-903-409-17-44;

Белоконь Людмила Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей алгебры и геометрии Ставропольского государственного университета, тел. 8-903-409-17-43.

Gajchuk Dmitry Viktorovich, Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the teacher of chair of the automated communication networks of the Stavropol military institute of communication of rocket armies, ph. 8-962-741-54-80;

Belokon Alexander Viktorovich, the teacher of chair of systems of protection of the information and safety of communication of the Stavropol military institute of communication of rocket armies, ph. 8-903-409-17-44;

Belokon Ludmila Vladimirovna, candidate of engineering science, senior lecturer of faculty of maximum algebra and geometry of the Stavropol state university, ph. 8-903-409-17-43.

мощность, т.е. использовать сигналы с наименьшим пик-фактором огибающей [1]. Очевидно, что это условие будет выполнено, если огибающая сигнала постоянна, так как при этом пик-фактор равен 1. Таким образом, первой характеристикой для ансамбля дискретных ортогональных в усиленном смысле (ДОУС) сигналов будет являться

$$y_1 = \max_{\{i\}} \eta_i, \quad (1)$$

а первое требование, предъявляемое к ансамблям ДОУС имеет вид (ансамбль сигналов при заданном числе переносчиков должен обеспечивать значение пик-фактора не более величины a для любого из сигналов ансамбля, то есть)

$$\max_{\{i\}} \eta_i \leq a. \quad (2)$$

Рассматривая процессы на выходе согласованного фильтра при приеме согласованного сигнала, можно отметить, что поскольку согласованный фильтр является линейным устройством, то каждый из входящих лучей создает свой отклик шириной порядка $1/F_c$, где F_c – ширина спектра сигналов [1]. При этом если выполняется условие $\Delta t > 1/F_c$, то входящие лучи не интерферируют и их можно разделить. Это позволяет в принципе избавиться от глубоких селективных замираний, а также использовать энергию лучей для повышения помехоустойчивости. Известно, что ширина спектра случайного процесса связана со временем корреляции следующей зависимостью

$$F_c = \frac{1}{t_{\text{корр}}}; \quad (3)$$

$$t_{\text{корр}} = \frac{1}{R(0)} \int_0^T |R(\tau)| d\tau; \quad (4)$$

$$R(\tau) = \int_0^T z(t)z(t-\tau)dt,$$

где $z(t)$ – принимаемый сигнал.

Тогда условие разделения лучей можно записать следующим образом:

$$t_{\text{корр}} \leq \Delta t_{\text{мин}}, \quad (5)$$

и второй характеристикой ансамблей ДОУС будет являться:

$$y_2 = \max_{\{i\}} t_{\text{корр}}^{(i)}, \quad (6)$$

а второе требование, предъявляемое к ансамблю ДОУС имеет вид (максимальное время корреляции сигналов ансамбля должно быть меньше либо равным минимальному времени запаздывания лучей Δt , т.е.)

$$\max_{\{i\}} t_{\text{корр}}^{(i)} \leq \Delta t_{\text{мин}}. \quad (7)$$

В работах [3, 4] отмечается, что для обеспечения максимальной помехоустойчивости при многолучевом приеме к огибающей нормированной автокорреляционной функции сигналов предъявляется требование

$$R_{r,n}(\tau) = 0 \text{ при } |\tau| > |\Delta t|, \quad (8)$$

где $R_{r,n} = \frac{R_r(\tau)}{PT}$, $B_{rq}(\tau)$ – огибающая АКФ, определяемая

$$R_r(\tau) = \sqrt{\left(\int_0^T z_r(t-\tau)z_r(t)dt\right)^2 + \left(\int_0^T z_r(t-\tau)\tilde{z}_r(t)dt\right)^2}.$$

Выражение (8) именуется условием «узости» автокорреляционной функции сигналов. В многолучевом канале при выполнении этого условия сигналы лучей, соответствующие одной позиции символа, можно разделить, если взаимное запаздывание между ними превышает Δt . На практике $R_{r,n}(\tau)$ оказывается при $|\tau| > |\Delta t|$ достаточно малым, но не равным нулю. Таким образом, третьей характеристикой ансамблей ДОУС будет

$$y_3 = \max_{\{i\}} R_{r,n}^{(i)}(\tau) = \rho_{\text{АКФ}}, \quad (9)$$

а третье требование, предъявляемое к ансамблю ДОУС имеет вид (максимальный боковой пик огибающей автокорреляционной функции сигналов ансамбля должен быть не более величины b , т.е.)

$$\rho_{\text{АКФ}} \leq b. \quad (10)$$

Важной характеристикой сигналов, в значительной степени определяющей помехоустойчивость систем при многолучевом приеме сигналов со случайной фазой, является огибающая нормированной функции взаимной корреляции сигналов [4]

$$B_{rq,n}(\tau) = \frac{B_{rq}(\tau)}{PT},$$

при равенстве энергий сигналов, где $B_{rq}(\tau)$ – огибающая ВКФ, определяемая соотношением

$$B_{rq}(\tau) = \sqrt{\left(\int_0^T z_r(t-\tau)z_q(t)dt\right)^2 + \left(\int_0^T z_r(t-\tau)\tilde{z}_q(t)dt\right)^2}.$$

При анализе приема в условиях многолучевого распространения особое место занимает случай, когда выполняется условие

$$B_{rq,n}(\tau) = 0 \text{ при } |\tau| > |\Delta t|. \quad (11)$$

Это условие именуется условием «узости» взаимокорреляционной функции сигналов. При выполнении условия (11) вместе с условием (8) в многолучевом канале можно разделить сигналы лучей, соответствующие произвольной позиции символа, если взаимное запаздывание между ними превышает Δt . В этом случае обеспе-

чивается максимальная помехоустойчивость связи [4]. На практике условие (11) удовлетворяется лишь приближенно. Таким образом, четвертой характеристикой ансамбля ДОУС будет

$$y_4 = \max_{\{i\}} B_{rq,n}^{(i)}(\tau) = \rho_{BK\Phi}, \quad (12)$$

а четвертое требование, предъявляемое к ансамблю ДОУС, имеет вид (максимальный боковой пик огибающей нормированной взаимокорреляционной функции сигналов ансамбля должен быть не более величины c , т.е.):

$$\rho_{BK\Phi} \leq c. \quad (13)$$

Для неискаженной передачи по каналу связи сигналов с объемом $V_c = T_c F_c D_c$, где T_c – длительность сигнала,

F_c – полоса частот сигнала, D_c – динамический диапазон, необходимо выполнение неравенства

$$V_c \leq V_k,$$

где $V_k = T_k F_k D_k$ – соответственно время использования канала, полоса пропускаемых им частот и динамический диапазон уровней, который он пропускает (без заметных искажений) [5]. Следовательно, важной характеристикой является полоса частот, занимаемая сигналами ансамбля. Ширина спектра сигнала F_c обратно пропорциональна времени корреляции (3), т.е. чем меньше время корреляции, тем шире полоса частот, занимаемая сигналом. Таким образом, к ансамблям сигналов предъявляются противоречивые требования: с одной стороны, для разделения лучей, т.е. выполнения условия (6), необходимо

уменьшать время корреляции, с другой стороны, для согласования сигналов с каналом связи ширину полосы частот необходимо уменьшать, что приводит к увеличению времени корреляции. Поскольку целью работы является повышение помехоустойчивости линий связи, то необходимо ослабить требования, предъявляемые к ширине полосы частот сигнала, и выбрать тот ансамбль сигналов, который удовлетворяет требованиям (2), (3), (10), (13) и при заданном числе переносчиков обеспечивает наименьшее значение ширины спектра сигналов. Таким образом, пятой характеристикой ансамблей сигналов будет

$$y_5 = F_c, \quad (14)$$

а пятое требование имеет вид (ширина спектра сигналов ансамбля должна быть не более величины d)

$$F_c \leq d. \quad (15)$$

Выводы. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что ансамбль ДОУС, используемых в качестве переносчиков информации в m -й системе радиосвязи КВ-диапазона, может быть оценен векторной характеристикой

$$\vec{y} = (y_1; y_2; y_3; y_4; y_5), \quad (16)$$

где $y_1; y_2; y_3; y_4; y_5$ определяются соотношениями (1), (6), (9), (12), (14). Помимо характеристик $y_1; y_2; y_3; y_4; y_5$, при синтезе ансамблей сигналов необходимо также учитывать сложность построения генерирующих устройств этих сигналов.

Литература

1. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1970. – 728 с.
2. Хмельницкий Е.А. Оценка реальной помехозащищенности приема сигналов в КВ-диапазоне. – М.: Связь, 1975. – 354 с.
3. Андронов И.С., Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным радиоканалам. – М.: Советское радио, 1971. – 406 с.
4. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. – М.: Связь, 1969. – 376 с.
5. Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. – М.: Связь, 1973. – 376 с.

Материал поступил в редакцию 10. 08. 2009 г.