

Бушин А.Ю., Скрипников Н.Н., Рымов А.И.  
 ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

### **Применение сложных сигналов для обеспечения малой вероятности перехвата радиолокационных сигналов системами радиоэлектронной разведки.**

При выборе типов сигналов, обеспечивающих повышенную скрытность работы РЛС, следует отметить, что в общем не любые методы расширения спектра сигналов (широкополосность) пригодны для реализации малой вероятности перехвата (МВП) сигналов средствами радиоэлектронной разведки (РЭР). Необходимо учитывать характеристики и возможности систем РЭР и другие угрозы радиолокационным системам (например, противорадиолокационные ракеты).

Применение ЛЧМ-импульсов можно отнести к системам с расширением спектра сигналов. Но разведка таких сигналов и использование их для обнаружения работы РЛС сравнительно просты для современных систем РЭР. Достаточно приближенно определить крутизну изменения частоты при ЧМ, или использовать несколько значений такой крутизны в приемнике РЭР для того, чтобы при приеме использовать сжатие сигнала во времени для обнаружения работы РЛС. Так же возможно применение сложных широкополосных сигналов типа шумоподобных с двоичным изменением фазы ( $0^\circ$  и  $180^\circ$ ) не позволяет защитить РЛС от наведения ПРР или скрыть работу РЛС от средств РЭР противника. Дело в том, что разработаны методы удвоения несущей частоты принимаемого сигнала в аппаратуре РЭР, которые приводят к тому, что изменения фазы в ШПС при приеме практически не будет (удвоение  $180^\circ$  дает  $360^\circ$  или  $0^\circ$  по модулю  $2\pi$ ). В приемнике ПРР достаточно ввести такое умножение и затем установить узкополосный интегратор (фильтр с полосой, обратной полной длительности ШПС) для повышенной эффективности приема сигнала РЛС.

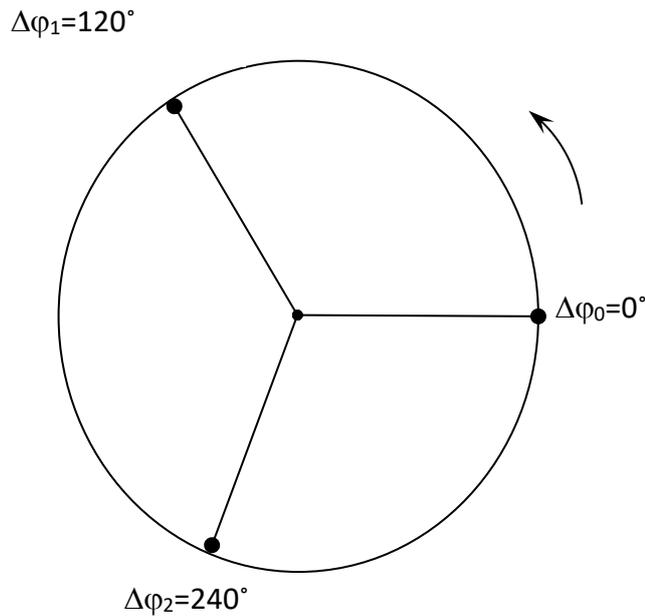
Однако для обеспечения МВП имеются возможности применения ряда разновидностей рассмотренных в этой главе сигналов. Возможно использование частотно-кодированных сигналов типа сигналов Костаса, обеспечивающих высокую скрытность работы РЛС. Большие возможности для обеспечения скрытности работы РЛС и МВП сигналов предоставляют многофазные кодовые последовательности (МФК-сигналы), которые являются разновидностью ФМС. Сигналы МФК это фактически ШПС с изменением фазы не по коду  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , а по произвольно заданному коду изменения дискрета фазы  $\Delta\varphi_i$  (типа кодов Френка).

Многофазное кодирование сигналов при МВП. Многофазные кодовые сигналы при решении задачи МВП представляют собой последовательности высокочастотных элементов, фазы которых изменяются по специальному псевдослучайному коду, который формируется кодовым генератором. Изменение фазы в отличие от двоичного кодирования осуществляется дискретными значениями из набора конечного значения числа дискретов в пределах  $360^\circ$ . Количество дискретов фазы определяется по формуле

$$N_\varphi = p^n$$

где  $p$  – простое целое число,  $n$ -также целое число  $1,2,\dots,n$ . Например, при двоичном кодировании фазы  $N_\varphi=2(0^\circ \text{ и } 180^\circ)$ , что соответствует значениям  $p = 2, n = 1$ . Если взять  $p=3, n=1$ , то получим 3 дискретных значений фазы  $D_\varphi$  равномерно распределенных в пределах  $360^\circ$ , а именно:  $\Delta\varphi_0 = 0^\circ$ ;  $\Delta\varphi_1 = 120^\circ$ ,  $\Delta\varphi_2 = 240^\circ$ .

На рис1 показаны эти дискретные значения фазы в виде распределения точек на окружности



единичного радиуса.

Общее число элементов последовательности ШПС с многофазным кодом определяется по формуле

$$N = N_{\varphi}^r - 1$$

которая соответствует формуле, приведенной для  $N_{\varphi} = 2$ . Величина  $r$  – это количество кодовых состояний в генераторе псевдослучайного кода (это, например, число элементов сдвигового регистра, который часто используется в качестве генератора ПСК).

Данную последовательность можно представить в виде построения многофазного кодов Френка. Этот код имеет следующую общую структуру:

$$\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & 1 & 2 & \dots & N-1 \\
 0 & 2, & 4 & \dots & \\
 \cdot & & & & \\
 \cdot & & & & \\
 \cdot & & & & \\
 0 & (N-1) & 2(N-1) & \dots & (N-1)^2
 \end{array}$$

Эту матрицу с одинаковым успехом можно читать как по строкам, так и по столбцам. Элементы ее представляют собой коэффициенты-со множителя основного фазового угла  $2\pi p / N$ , где  $p$  и  $N$  - целые и взаимно простые числа. В нашем рассмотрении будем предполагать, что  $p = 1$ . Реальная кодовая последовательность образуется путем размещения строк и столбцов последовательные друг за другом, при этом мы получаем последовательность содержащую  $N^2$

элементов. Для  $N = 3$  получаем последовательность  $\left\{ \frac{N\theta_n}{2\pi} \right\} = 0, 0, 0; 0, 1, 2; 0, 2, 1$ , которая состоит из 9 элементов. Отметим что элементы это последовательность представляет собой числа по модулю  $N$  и что каждая из  $N$  - групп начинается с нулевого элемента. Первая группа из трех элементов указывает на факт отсутствия фазового сдвига; в следующей группе из трех элементов коэффициент отличается на единицу и соответствуют  $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ ; последняя трехэлементная группа состоит из элементов отличающихся на две единицы и соответствует  $0^\circ, 240^\circ, 120^\circ$  по модулю  $360^\circ$

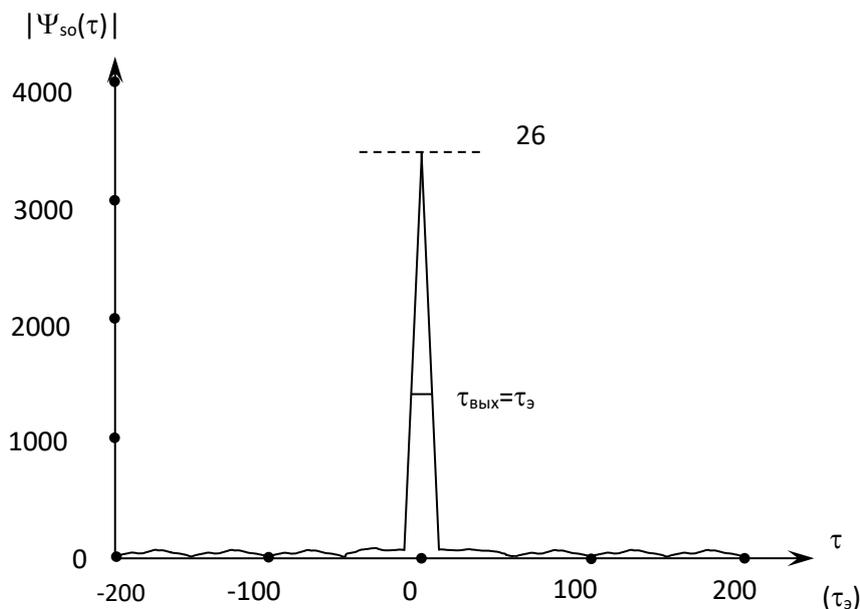
При рассмотрении МФК-сигналов, которые обеспечивают МВП. Можно выделить несколько достоинств:

1) Сигналы с МФК не подвержены декодированию методом удвоения частоты высокочастотного наполнения, которое возможно в устройствах РЭР и в противорадиолокационных ракетах. Таким образом, кодовая последовательность изменения фазы остается скрытой для противника. Умножение в 3 раз приводит к декодированию фазы, но такая система умножения в 3 раз весьма сложна на практике и конечно при других значениях  $N_\phi$  будет также неэффективна.

2) Сигналы с МФК имеют широкий диапазон возможных реализаций последовательности элементов, что существенно повышает скрытность работы и затрудняет несанкционированное выявление конкретных кодов, используемых в МФК-сигналах.

4) Интересной особенностью МФК-сигналов является то, что спектральная плотность их равномерна во всем диапазоне частот  $\Delta f = 1/\tau_s$ , это обстоятельство существенно затрудняет обнаружение сигнала средствами РЭР, которые вынуждены иметь полосу приемного устройства на всю ширину спектра принимаемого сигнала.

В заключение отметим, что в настоящее время имеются возможности обеспечить скрытную работу РЛС и затруднить системам РЭР и ПРР обнаружение и перехват РЛ сигналов. Перспективными в этом отношении являются и сигналы с частотным кодированием.



На данном рисунке представлена функция неопределенности с изменением фазы на  $120^\circ$ , что приводит к повышению скрытности работы радиолокационной станции.

Для того чтобы противостоять мерам радиоэлектронной разведки, направленным на раскрытие сигнала, используют сложные широкополосные сигналы с необходимыми для радиопротиводействия параметрами. Бортовые РЛС должны использовать ЗС, оптимизированные под решаемые задачи и возможное воздействие активных и пассивных помех. Из выше сказанного можно сделать вывод о том, что сигналы Френка могут быть применены для повышения скрытности работы РЛС. При изменении фазы на  $120^\circ$  повышаются скрытность и помехоустойчивость за счет снижения максимального уровня боковых лепестков ФН как во временной, так и в частотной областях.

### **Литература**

1 Дудник П.И. Авиационные радиолокационные комплексы и системы: учебник для слушателей и курсантов ВУЗов ВВС/ П.И. Дудник, Г.С. Кондратенков, Б.Г. Татарский, А.Р. Ильчук, А.А Герасимов. Под ред. П.И. Дудника. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006 – 1112 с.

2 Ч. Кук, М. Бернфельд Радиолокационные сигналы. М.: Издательство «Советское радио», 1971, с.568.