

**ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ
РАДІОЗВ'ЯЗКУ, РАДІОЛОКАЦІЇ, РАДІОНАВІГАЦІЇ**

УДК 621.396.96:621.396.62

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПСЕВДОШУМОВОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ
В ОБЛАСТІ СИЛЬНОЇ І СЛАБКОЇ КОРЕЛЯЦІЇ.**

Бичков В.Є., Мрачковський О.Д., Ольшевський І.В.

Досліджено складний псевдошумовий радіолокаційний сигнал, фазоманіпульований бінарною М-последовністю. Приведені результати розрахунків потенційних характеристик сигналу, кореляційних та взаємкореляційних функцій.

Вступ

Про застосування складних псевдошумових (ПШС) фазоманіпульованих сигналів (ФМн) в радіолокації вперше було сказано в [1]. На даний момент ФМн сигнали знайшли широке застосування в телекомунікації [4,6] та в супутниковій навігації [7].

Постановка задачі. Теоретичні дослідження

Фазоманіпульовані сигнали, сформовані за допомогою бінарних М-последовностей (последовностей Хаффмена), приймають два значення фази 0 та π . Правило утворення такої М-последовності є наступним: значення кожного поточного символу d_j залежить від значень m попередніх символів і визначається правилом:

$$d_j = \sum_{i=1}^m c_i d_{j-i} = c_1 d_{j-1} \oplus \dots \oplus c_m d_{j-m},$$

де множення здійснюється за модулем 2, а d_j дорівнює 1 або 0. Спектр ФМн сигналу визначається шляхом перетворення Фур'є комплексної огинаючої сигналу:

$$S(w) = \int_{-\infty}^{\infty} U(t) e^{-jw t} dt.$$

Звідси отримуємо комплексну спектральну щільність

$$\text{последовних неперіодичних ФМн сигналів: } S(jf) = S_0(jf) \sum_{n=1}^N a_n e^{-j2\pi f(n-1)\tau_0},$$

де a_n – символ М-последовності, $S_0(jf)$ – комплексна спектральна щільність одиночного радіоімпульсу тривалістю τ_0 з прямокутною огинаючою $S_0(jf) = U_m \tau_0 \text{sinc}(\pi(f - f_0)\tau_0)$.

На рис.1 наведено амплітудний частотний спектр ФМн сигналу з параметрами $T=10$ мкс, $n=10$, тобто $N=1023$. Спектр побудований без урахування центральної частоти сигналу, тобто для випадку $f_0=0$. Функція автокореляції для ФМн сигналу записується як:

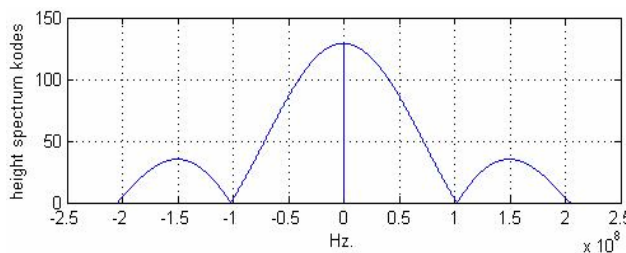


Рис. 1. Спектр ФМн сигналу

$$R(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{n=\mu+1}^N a_n a_{n-\mu}^*, \text{ де } \mu = \tau/\tau_0, \text{ і змінюється в межах від } -(N-1) \text{ до } (N-1).$$

На рис.2 представлена нормована автокореляційна функція сигналу з параметрами $T=10$ мкс, $f_0=8,8$ ГГц, $N=1023$. Крім основного піку автокореляційної функції спостерігаються бічні пелюстки. Рівень цих пелюсток (див. рис. 2) близький до значення $1/\sqrt{N}=1/\sqrt{1023}=0,0313$.

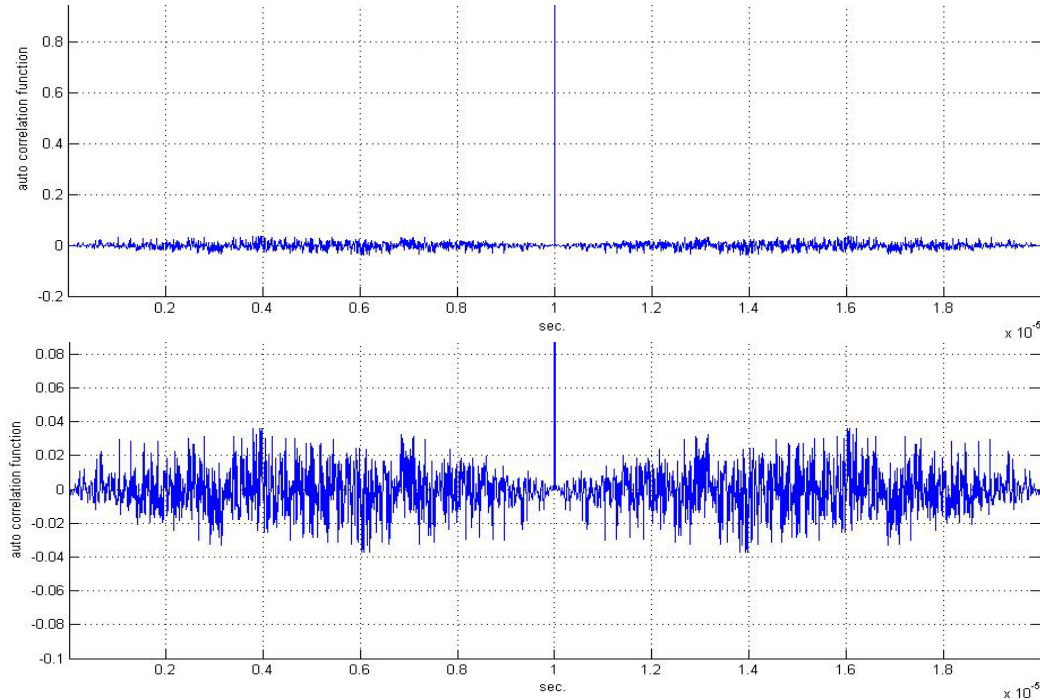


Рис. 2. Автокореляційна функція ФМн сигналу з $N=1023$

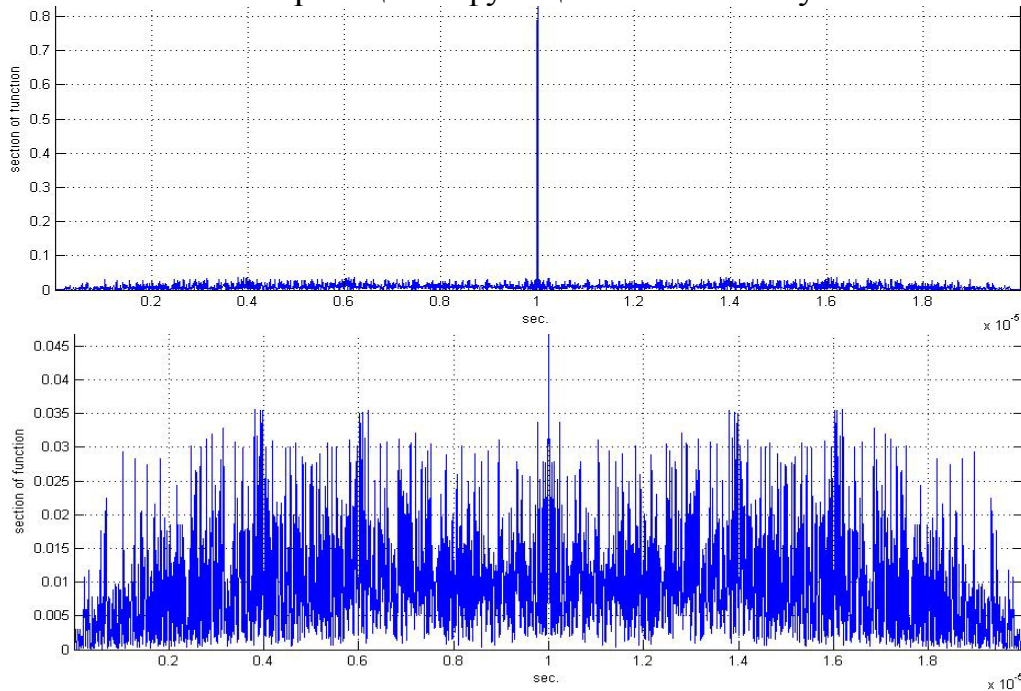


Рис.3. ВКФ на рівні -1 дБ

На рис. 3-5 представлені взаємкореляційні функції (ВКФ), для яких рівень

кореляції падає відповідно -1, -3, -6 дБ.

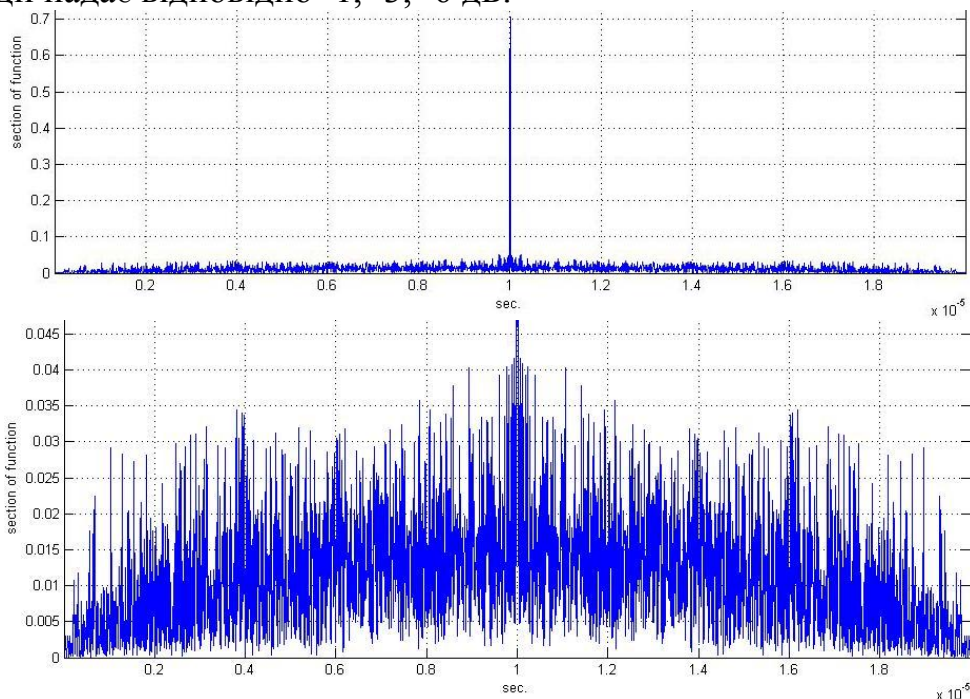


Рис.4. ВКФ на рівні -3 дБ.

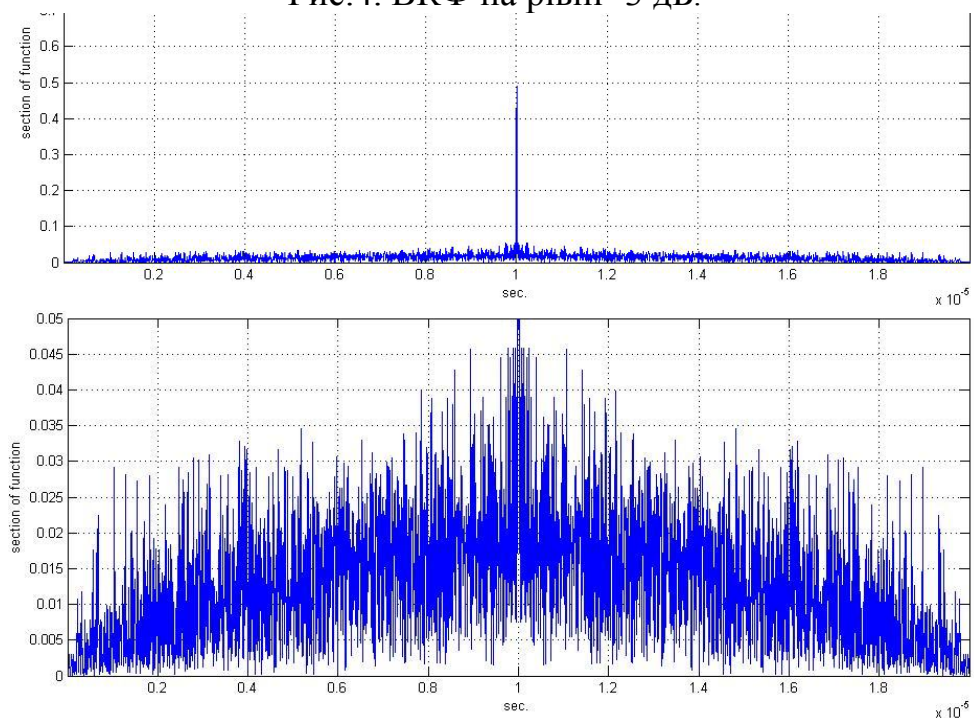


Рис.5. ВКФ на рівні -6 дБ

Оцінюючи рівень викидів ВКФ, зазначимо, що він збільшується зі збільшенням швидкості. Для рівня -1 дБ (швидкість $V=476,52$ м/с) максимальний рівень складає 0,0354, для рівня -3 дБ ($V=815,2$ м/с) - 0,04, для рівня -6 дБ ($V=540,72$ м/с) - 0,0455.

Для ФМн сигналу функція невизначеності записується як:

$$R(\mu\tau_0, \Omega) = \frac{R_0(\Omega)}{N} \sum_{n_1}^{n_2} a_n a_{n-\mu}^* \exp(j(n-1)\Omega\tau_0), \text{ де } a_n - \text{ символ } M\text{- послідовності,}$$

$$\mu = \tau/\tau_0, R_0(\Omega) = \frac{\sin(\Omega\tau_0/2)}{\Omega\tau_0/2} e^{j\Omega\tau_0/2} - \text{ функція невизначеності одиночного пря-$$

мокутного імпульсу, яка залежить тільки від двох параметрів: частоти Ω і тривалості τ_0 , межі підсумовування визначаються як $n_1 = \mu + 1, n_2 = N$ при $\mu > 0$; $n_1 = 1, n_2 = N - |\mu|$ при $\mu < 0$.

На рис.6 представлений графік функції невизначеності (тіло невизначеності) досліджуваного сигналу. Видно, що рівень бічних пелюсток в області слабкої кореляції незначний, і тривалість центрального викиду мала.

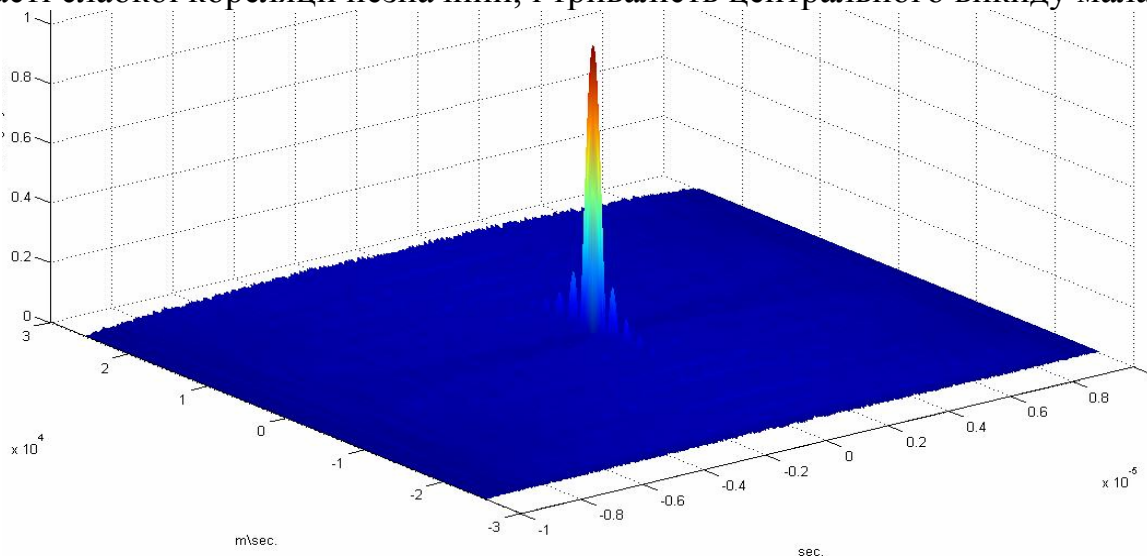


Рис.6. Тіло невизначеності для $N=1023$

Частотна кореляційна функція – переріз функції невизначеності вздовж осі швидкості при $\tau = 0$. Аналітичний запис частотної кореляційної функції (ЧКФ) для фазоманіпульованого сигналу:

$$R(\Omega) = \frac{\sin(\Omega T/2)}{\Omega T/2}. \text{ ЧКФ представлена}$$

на рис.7. Замість такого параметра, як частота Доплера, використано еквівалентне значення швидкості. З рисунка видно, що вздовж вісі швидкості є сплески бічних пелюсток, які надалі можуть впливати на виявлення цілі. Якщо розробникові РЛС знадобиться другий швидкісний канал, то ці бічні викиди потраплятимуть у сусідній канал, що зменшить достовірності отримуваної інформації про ціль, підвищить вірогідність помилкової тривоги. Потенційна роздільна здатність ФМн сигналу за дальністю та швидкістю визначається з перерізу функції невизначеності

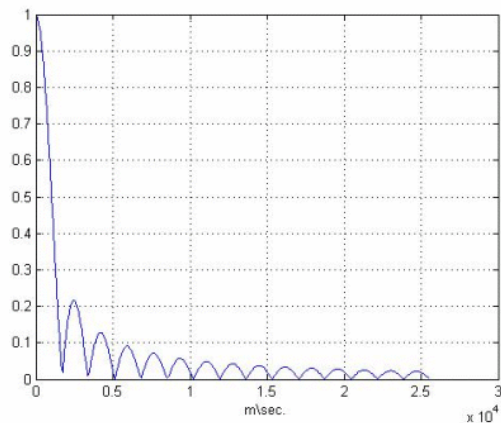


Рис. 7.

(ізокореляти). Нижче наведені графіки, де представлені перерізи функції невизначеності на рівнях -1, -3 і -6 дБ.

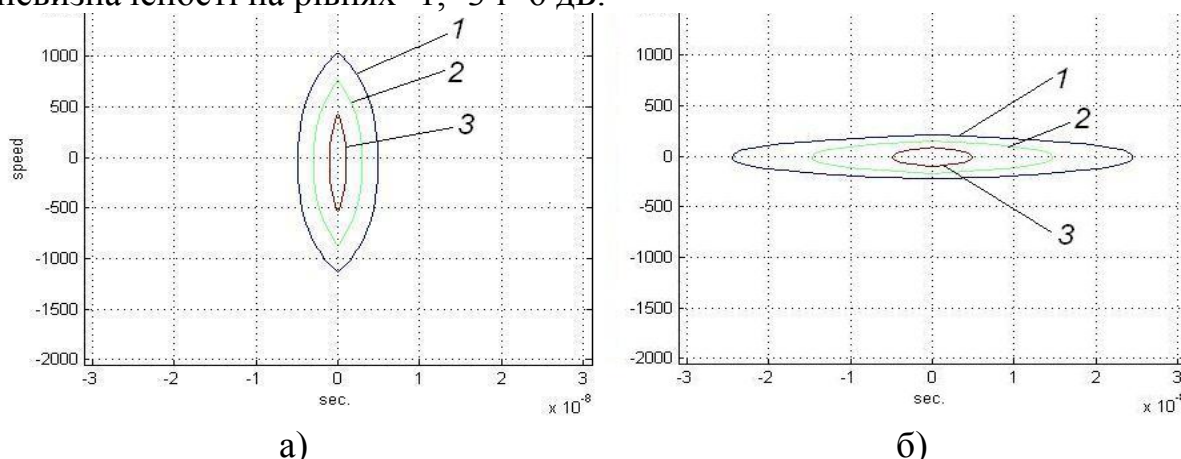


Рис.8. Переріз функції невизначеності на рівні -6 дБ (1), -3 дБ (2), -1 дБ (3)

На рис.8 зображені перерізи функції невизначеності ПШС сигналів з параметрами $T=10$ мкс, $f_0=8,8$ ГГц, $N=1023$ (рис. 8а) , і $T=50$ мкс, $f_0=8,8$ ГГц, $N=1023$ (рис.8б). Результати проведених досліджень потенційних роздільних здатностей за дальністю та швидкістю, визначених на рівнях -1, -3, -6 дБ, наведені в табл.1, 2.

Таблиця 1

ПШС з параметрами $T=10$ мкс, $f_0=8,8$ ГГц, $N=1023$, $2\Delta f=102,3$ МГц

| | -1дБ | -3дБ | -6дБ |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $\Delta\tau, \text{с}$ | $\frac{0.2}{2\Delta f}$ | $\frac{0.6}{2\Delta f}$ | $\frac{1}{2\Delta f}$ |
| $\Delta v, \text{м/с}$ | 953,03 | 1630,42 | 2158,89 |

Таблиця 2

ПШС з параметрами $T=50$ мкс, $f_0=8,8$ ГГц, $N=1023$, $2\Delta f=20,5$ МГц

| | -1дБ | -3дБ | -6дБ |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $\Delta\tau, \text{с}$ | $\frac{0.2}{2\Delta f}$ | $\frac{0.6}{2\Delta f}$ | $\frac{1}{2\Delta f}$ |
| $\Delta v, \text{м/с}$ | 190.57 | 326.11 | 431.81 |

З рис. 8 видно, що при зміні тривалості всієї послідовності, змінюється роздільна здатність за дальністю та швидкістю. Це пов'язано з тим, що, змінюючи тривалість T сигналу, ми змінюємо і його смугу частот $2\Delta f$ ($T=N\tau_0$, $2\Delta f=1/\tau_0$). Проте, якщо змінювати одночасно T сигналу і довжину послідовності N , можна побудувати зондуєчий сигнал з потрібними роздільними здатностями. Отримані діаграми невизначеності повторюють конфігурації для простих, тональних сигналів. Так ПШС сигнал з параметрами $T=10$ мкс, $f_0=8,8$ ГГц, $N=1023$ володіє високою роздільною здатністю за швидкістю і низькою за дальністю. Досить збільшити тривалість сигналу в

5 разів (рис.8б) і отримаємо діаграму невизначеності, властиву довгому тональному сигналу. Тобто твердження Рихачека [7] про те, що вказані діаграми належать тільки до класу простих сигналів є невірним, оскільки при відповідному виборі параметрів ПШС можна отримати аналогічні діаграми, в класі складних сигналів. Крім того, використання ПШС з високими роздільними здатностями за дальністю призводить до підвищення точності оцінки за дальністю та завадостійкості на тлі місцевих перешкод [8].

Висновки

З отриманих результатів видно, що застосування ФМн сигналів, фазоманіпульованих *M*-последовністю, дає значні переваги в порівнянні із застосуванням простих зондуючих сигналів. Але використання таких ФМн сигналів в якості зондуючих радіолокаційних сигналів вимагає ретельного вивчення їх потенційних можливостей розробниками РЛС.

Література

1. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М., Радио и связь. 1986.
2. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Я.Д.Ширмана. Сов. радио», 1970.
3. Петрович Н.Т., Розмахин М.К.. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Сов. радио, 1970.
4. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. Москва, «Советское радио», 1970.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. Радио и связь, 1985.
6. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М., Горячая линия, 2005.
7. Рихачек. Упрощенный способ выбора радиолокационных сигналов, Зарубежная радиоэлектроника, №2, 1973.
8. Уестерфильд, Прегер. Выигрыш в отношении сигнал/пассивная помеха при использовании согласованных фильтров, Зарубежная радиоэлектроника, №3, 1961.

| | |
|--|---|
| <p>Бычков В.Е., Мрачковский О.Д., Ольшевский И. Исследование потенциальных характеристик псевдошумового радиолокационного сигнала Исследован сложный псевдошумовой радиолокационный сигнал фазоманипулированный бинарной <i>M</i>-последовательностью. Приведены результаты расчетов потенциальных характеристик сигнала, корреляционных и взаимокорреляционных функций</p> | <p>Vychkov V.E., Mrachkovsky O.D., Olshevsky I.V. Research of the potential characteristics of an image noise radar-tracking signal Complex image noise radar-tracking signal, which has of phase modulation by a binary <i>M</i>-sequence Is investigated. The results of accounts of the potential characteristics of a signal, correlation and inter correlation function are given</p> |
|--|---|