

В. Г. БАЛИЦЬКА, Б. О. НИЖЕГОЛЬСЬКИЙ

ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПАКЕТУ ІМПУЛЬСІВ НА ОСІ ЧАСУ В ПРИСУТНОСТІ ПЕРЕШКОД

У статті розглянуто вплив розподілу імпульсів у пакеті з прямокутною обвідною та числа імпульсів n на величину середньоквадратичної похибки при визначенні положення пакету на осі часу в присутності перешкод. Розглянуті випадки рівномірного та нерівномірного розподілу імпульсів у пакеті.

Візьмемо випадок, коли вихідний сигнал, який є наслідком оптимальної обробки n імпульсів, можна вважати сильним. У роботі [1] показано, що при сильних сигналах апостеріорний розподіл $W_y(\tau)$ можна вважати гаусовим, отже, оцінку часового запізнення τ_z можна робити по максимальній правдоподібності (розподіл симетричний).

Для оптимальної обробки суміші сигналу з перешкодою необхідно виконати такі операції: узгоджену фільтрацію, детектування (квадратичне чи лінійне) та підсумовування значень обвідної, розміщених на осі часу на відстані T_i з вагою α_i . При прямокутній обвідній пакету імпульсів коефіцієнти α_i дорівнюють одиниці. Аналіз виконуємо для імпульсів прямокутної форми. Результати його можуть бути використані також для імпульсів з іншими обвідними, оскільки при виконанні умови $\tau_0 \ll T_i$ форма імпульсу впливає на точність оцінки положення пакету на осі часу значно менше, ніж характер розподілу імпульсів у пакеті (τ_0 — тривалість імпульсу). Оцінка впливу форми імпульсів у цій роботі не проводиться.

Середньоквадратична помилка δ_τ при оцінці часового запізнення τ_z по максимальній правдоподібності може бути підрахована для сильних сигналів відповідно до [2]

$$\delta_\tau^2 = \frac{1}{q\beta_\tau^2},$$

де $q = \frac{2E}{N_0}$ — відношення енергії сигналу E до спектральної густини перешкоди N_0 ;
 β_τ — параметр, який характеризує дисперсію частотних складових спектра модуляційної функції вихідного сигналу $S(t)$,

$$\beta_\tau^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} [S'(t)]^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} [S(t)]^2 dt}; \quad (1)$$

$S'(t)$ — похідна функції $S(t)$.

Скориставшись наведеним виразом (1), визначимо точність відліку дистанції при рівномірному розподілі імпульсів у пакеті з прямокутною обвідною.

Випромінюється пакет з рівномірним розподілом імпульсів. Через T позначимо інтервал часу між імпульсами. Тривалість такого пакету дорівнює $T_{\Sigma p} = (n - 1) T$, де n — число імпульсів у пакеті.

Вихідна напруга $S_{\text{вих}}(t)$, яка повторює форму кореляційної функції закону модуляції вхідного сигналу, матиме вигляд послідовності трикутних імпульсів з обвідною трикутної форми (рис. 1), де τ_3 — запізнення пакету імпульсів; $\tau_3 + (n - 1) T$ — момент появи максимальної напруги сигналу; A — амплітуда одного імпульсу.

Коефіцієнт β_τ^2 визначається виразом

$$\beta_\tau^2 = \frac{3}{T^2} \cdot \frac{n + 1 + \frac{T}{\tau_0}}{n^3 - 1 + \frac{T}{\tau_0}},$$

а середньоквадратична помилка при рівномірному розподілі імпульсів

$$\delta_p = \pm \frac{1}{\sqrt{q} \cdot \beta_\tau} = \frac{T}{\sqrt{3q}} \sqrt{\frac{n^3 - 1 + \frac{T}{\tau_0}}{n - 1 + \frac{T}{\tau_0}}}.$$

Позначимо величину $\frac{\delta_p \sqrt{q}}{T}$ через δ'_p , при цьому $\delta_p = \frac{\delta'_p T}{\sqrt{q}}$.

На рис. 2 наведені залежності величини $\delta'_p = f\left(\frac{T}{\tau_0}\right)$ для $n = 5$

та 10. На рис. 3 наведені графіки, які характеризують $\delta'_p = f(n)$ для відношень $\frac{T}{\tau_0} = 10$ та 50.

Середньоквадратична помилка δ_p пропорційна величині δ'_p та інтервалу між імпульсами. Характер зміни її із зростанням $\frac{T}{\tau_0}$ залежить від того, чи зросла величина T при незмінному τ_0 або ж при незмінному T зменшилась величина τ_0 . У першому випадку δ_p зростає, незважаючи на те, що δ'_p зменшується. У другому випадку зміни помилки δ_p із зростанням $\frac{T}{\tau_0}$ визначаються змінами величини δ'_p .

Розглянемо випадок нерівномірного розподілу імпульсів у пакеті з прямокутною обвідною.

Випромінюється пакет з нерівномірним розподілом імпульсів. Розглянуто випадок, коли зміна інтервалів часу між імпульсами в межах пакету здійснюється за лінійним законом, тобто

$$T_{k+1} - T_k = T_k - T_{k-1}$$

$$\text{або } T_k = T_1 [1 + a(k-1)],$$

де T_k — інтервал часу між k та $k+1$ імпульсами;

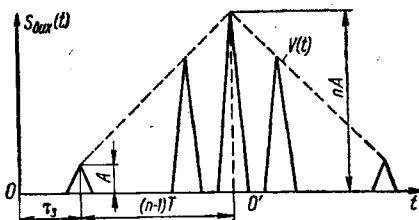


Рис. 1. Обвідна вихідного сигналу після оптимальної обробки пакету рівномірно розподілених імпульсів з прямокутною обвідною.

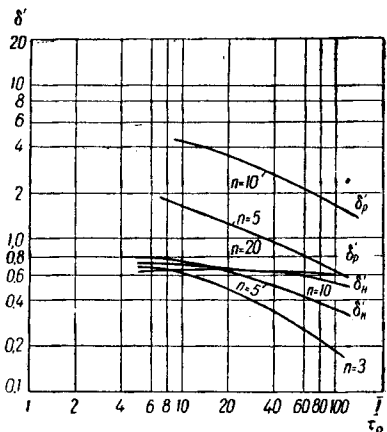


Рис. 2. Графік залежності середньоквадратичної помилки визначення часового запізнення від співвідношення $\frac{T}{\tau_0}$ при числі імпульсів у пакеті $n=3; 5; 10$ та 20 для рівномірного й нерівномірного розподілу імпульсів.

a — коефіцієнт, який характеризує швидкість зміни інтервалів часу

$$a = \frac{T_k - T_1}{(k-1)T_1}.$$

Величину a слід вибрати таким чином, щоб виключити можли-

вість одночасної появи на виході підсумовувача частин різних імпульсів, що може привести до збільшення окремих викидів обвідної $S_{\text{вих}}(t)$. Для цього тривалості інтервалів повинні бути більшими за тривалість імпульсу τ_0 , а коефіцієнт $a \geq \frac{\tau_0}{T_1}$. Максимальне значення a обмежується величиною, при якій можуть збігатися по тривалості останній інтервал між імпульсами T_{n-1} та сума найкоротших інтервалів T_1 та T_2 ,

$$T_1 + T_2 > T_{n-1},$$

звідки

$$a < \frac{1}{n-2}.$$

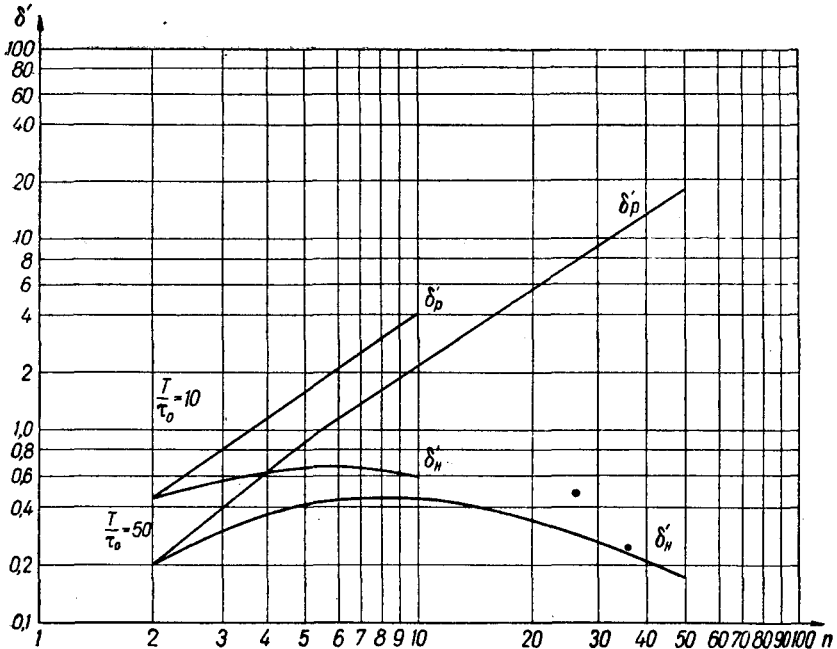


Рис. 3. Графік залежності середньоквадратичної помилки визначення часового запізнення від числа імпульсів у пакеті при $\frac{T}{\tau_0} = 10$ та 50 для рівномірного й нерівномірного розподілу імпульсів.

Тривалість всього пакету дорівнює

$$T_{\Sigma n} = (n-1) \left[1 + \frac{(n-2)a}{2} \right] T_1.$$

Для зручності порівняння результатів будемо вважати, що тривалості пакетів у першому та другому випадках рівні, тобто

$$T_{\Sigma n} = T_{\Sigma p} \text{ або } (n-1) \left[1 + \frac{(n-2)a}{2} \right] T_1 = (n-1) T,$$

звідки

$$T_1 = \frac{T}{1 + \frac{(n-2)a}{2}}.$$

Вихідна напруга $S_{\text{вих}}(t)$, яка повторює форму кореляційної функції вихідного сигналу, матиме в даному випадку вигляд послідовності трикутних імпульсів. Рівень одного з них значно більший за рівень інших (рис. 4). Коефіцієнт β_{τ} у цьому випадку

$$\beta_{\tau}^2 = \frac{3}{T} \cdot \frac{\frac{(n-1)^2}{T_1} + \frac{1}{\tau_0}}{\frac{T_1}{T} [3n + (n-1)^2] + 3 \left(n-1 - \frac{T_1}{T} \right) + \frac{\tau_0}{T}};$$

$$\delta'_n = \pm \frac{T_1}{\sqrt{3q}} \cdot \sqrt{\frac{[3n + (n-1)^2] + 3 \left[n-1 - \frac{5}{1+0,5a(n-2)} \right] + \frac{\tau_0}{T_1 [1 + 0,5a(n-2)]}}{(n-1)^2 + \frac{T_1}{\tau_0}}}$$

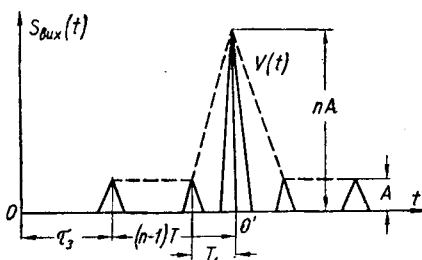


Рис. 4. Обвідна вихідного сигналу після оптимальної обробки пакету нерівномірно розподілених імпульсів з прямокутною обвідною.

де δ_n — середньоквадратична помилка при нерівномірному розподілі імпульсів, а $\delta'_n = \frac{\delta_n \sqrt{q}}{T_1}$.

Для зручності порівняння величин δ'_p та δ'_n на рис. 2 наведені залежності $\delta'_n = f\left(\frac{T}{\tau_0}\right)$ для значень чисел імпульсів $n = 3; 5; 10; 20$.

При числі імпульсів $n^2 \gg \frac{T_1}{\tau_0}$ величина δ'_n практично не залежить від співвідношення $\frac{T}{\tau_0}$. На рис. 3 наведені залежності $\delta'_n = f(n)$ для значень $n \leq \frac{T}{\tau_0}$. При $n > \frac{T}{\tau_0}$ визначення величини δ'_n слід ви-

конувати з врахуванням можливої одноразової появи кількох імпульсів на виході підсумовувача, отже, збільшення рівнів викидів вихідної напруги. Усі розрахунки виконано для $\frac{T}{\tau_0} = 10$ та 50 при граничних значеннях $a = 0,1$ та $0,2$ відповідно.

На рис. 5 наведені графіки $\frac{\delta_p'}{\delta_n} = f(n)$ для відношень $\frac{T}{\tau_0} = 10$ та 50. Величина $\frac{\delta_p'}{\delta_n}$ при $T = T_1$ дорівнює відношенню середньоквадратичних помилок δ_p та δ_n при рівномірному та нерівномірному

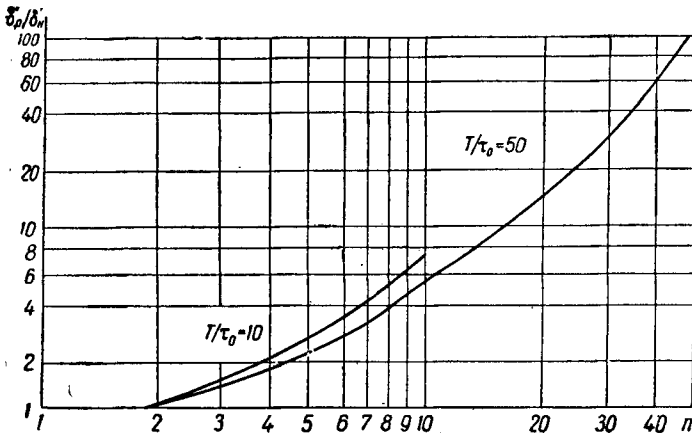


Рис. 5. Графік залежності відношення середньоквадратичних помилок визначення часового запізнення при рівномірному та нерівномірному розподілу імпульсів у пакеті від їх числа для

$$\frac{T}{\tau_0} = 10, 50.$$

му розподілах імпульсів у пакеті. При збільшенні числа імпульсів відношення помилок значно зростає. Якщо $T \neq T_1$,

$$\frac{\delta_p}{\delta_n} = \frac{\delta_p'}{\delta_n'} \cdot \frac{T}{T_1}.$$

Одержані в роботі вирази та графіки можуть бути використані при вирішенні питання про число імпульсів та характер їх розподілу в пакеті, для оцінки похибок при визначенні положення пакету імпульсів на осі часу в залежності від числа імпульсів, співвідношення та характеру зміни інтервалів між імпульсами.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вудворд Ф. М. и Девис И. Л. Статистическая теория приема радиолокационных сигналов.— Сб. «Теория передачи электрических сигналов при наличии помех». ИЛ, 1953.

2. Фалькович С. Е. Прием радиолокационных сигналов на фоне флюктуационных помех. «Советское радио», 1961.

В. Г. БАЛИЦКАЯ, Б. А. НИЖЕГОЛЬСКИЙ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПАКЕТА ИМПУЛЬСОВ НА ОСИ ВРЕМЕНИ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ

К р а т к о е с о д е р ж а н и е

Рассмотрен вопрос об оценке положения пакета высокочастотных импульсов со случайными и независимыми фазами с прямоугольной огибающей пакета на фоне «белого шума» при равномерном и неравномерном распределении импульсов в пакете.

Выведены соотношения для оценки погрешности при фиксации положения пакета на оси времени в зависимости от числа импульсов, распределения импульсов в пакете и отношения длительности интервалов между импульсами T к длительности импульсов τ_0 .

W. G. BALIZKAJA, B. A. NIZSCHEGOLSKY

TO THE QUESTION OF THE LOCATION OF AN IMPULSE SERIES ON A TIME AXIS IN THE PRESENCE OF NOISE

S u m m a r y

The problem of location of a high-frequency impulse series with occasional and independent phases with a rectangular envelope on the background of white noise with regular and irregular impulse distribution in the series is considered.

Relationships for the error determination with fixing the series location on the time axis depending on the quality of impulses, the distribution of impulses in the series and the length ratio of the intervals between the impulses T to the impulse length τ_0 are derived.