УДК 621.391

А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, О.Б. Обозовський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

УЗАГАЛЬНЕНА ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ФЛУКТУАЦІЙ АМПЛІТУДИ ВІДЛІКІВ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ШУМОВОЇ ЗАВАДИ

Запропонований варіант опису флуктуацій амплітуди відліків активної завади, що охоплює широкий спектр можливих варіантів активних завад від маскуючої шумової до хаотичної імпульсної завади. В якості імовірнісної моделі зміни потужності використаний узагальнений гамма-розподіл. Для опису нестаціонарного шумового процесу отримана замкнена форма запису для квадратурних складових та відповідна щільність розподілу огинаючої.

Ключові слова: *імпульсні завади, нестаціонарна шумова завада, гамма-розподіл.*

Вступ

Постановка проблеми. Масове використання в збройних силах та народному господарстві радіоелектронних засобів призвело до створення складної електромагнітної обстановки.

РЛС в умовах мирного часу, а особливо – в умовах бойового використання, будуть підлягати впливу великої кількості джерел активних завад маскуючого (шумового) та імітуючого (імпульсного) характеру [1 – 3]. У [3] стверджується, що найбільш вигідним для противника, з енергетичної точки зору, є постановка комбінованої завади, яка містить як імітуючу, так і маскуючу складову.

Засвіт екрана індикатора кругового огляду від подібної імпульсної завади настільки сильний що залишається на наступному оберті розгортки та заважає оператору РЛС. У випадку використання автоматизованих систем обробки радіолокаційної інформації імпульсні завади викликають перевантаження даних систем хибними відмітками.

При вирішенні широкого кола задач аналізу впливу імпульсних завад на показники якості радіолокаційної системи методом математичного або імітаційного моделювання необхідна зручна імовірнісна модель флуктуацій амплітуди сигналів імпульсної завади.

Аналіз літератури. У літературі описаний цілий ряд варіантів опису імпульсних завад різної структури та походження.

Наприклад в [4] пропонується імпульсну заваду представити послідовністю імпульсів, які мають випадковий множник амплітуди і час затримки.

Ускладненням моделі може бути перехід до опису випадкових комплексних огинаючих та введення випадкового періоду посилок (несинхронна (хаотична) імпульсна завада). В отриманому «потоці» випадкових імпульсів можливо фіксувати середній період посилки та статистичний опис розподілу його флуктуацій. Аналогічні міркування можливо застосувати до середнього значення тривалості окремих імпульсів, та до інших параметрів комплексної огинаючої.

В якості закону розподілу амплітуди огинаючої пропонується використовувати логонормальний, експоненціальний закон розподілу, К-розподіл, полігаусові моделі та ін. [4]. Відмічається, що апроксимація експериментальних розподілів амплітуд імпульсних завад якимось одним законом не забезпечує достатньої точності. В зв'язку з цим була зроблена спроба знайти закон розподілу, який би враховував природу імпульсної завади та дозволив би отримати більш точну апроксимацію експериментальних результатів.

Мета статті. Розробити узагальнену модель опису флуктуацій амплітуди відліків нестаціонарної шумової завади яка б охоплювала весь спектр можливих варіантів активних завад від маскуючої шумової до хаотичної імпульсної завади, зберігаючи при цьому єдність опису та енергетичні співвідношення процесів.

Виклад основного матеріалу

Щільність імовірності розподілу амплітуд миттєвих значень квадратурних компонент (косинусної – $u_c(t) = \mathrm{Re}\left(\dot{U}(t)\right)$ та синусної – $u_s(t) = \mathrm{Im}\left(\dot{U}(t)\right)$, де $\dot{U}(t)$ – комплексна огинаюча випадкового процесу) описується нормальним законом розподілу, а огинаюча випадкового процесу $\left|\dot{U}(t)\right| = U$ – законом розподілу Релея.

Для опису вибірки в загальному випадку нестаціонарного шумового впливу, наприклад, в кільці дальності достатньо вважати комплексні відліки шуму $\dot{U}_{ш}$ в кожному і-тому елементі розрізнення гаусовим випадковим процесом з фіксованою дисперсією відліків $\sigma^2_{ш,i}$.

Якщо на інтервалі прийому M – елементної комплексної вибірки потужність завади $\sigma^2_{ш,i}$ можливо вважати постійною, то умовна щільність розподілу цих комплексних відліків $\dot{U}_ш$ визначається гаусовим законом розподілу (1)

$$P(\dot{U}_ш)=\frac{\left|\dot{\Phi}_ш\right|^{-1}}{\pi^N}\cdot\exp\left(-\dot{U}_ш{}^{*T}\cdot\dot{\Phi}_ш{}^{-1}\cdot\dot{U}_ш\right), \quad (1)$$

де | . | – детермінант матриці; $(\cdot)^*$ – операція комплексного спряження; $\dot{\Phi}_ш{}^{-1}$ – матриця, зворотня кореляційній. Елементи кореляційної матриці $\dot{\Phi}_ш$ в силу статистичної незалежності суміжних відліків шумового процесу $\dot{u}_{ш,i},\dot{u}_{ш,k}$ у елементі розрізнення, що розглядається дорівнюють

$$\dot{\Phi}_{ш,i,k}=\begin{cases}\sigma_ш{}^2,\ i=k;\\ 0,\ i\neq k,\end{cases}\qquad i,k=1,...,N. \quad (20$$

При вимірі $\sigma_ш{}^2$ в суміжних елементах розрізнення, процес може розглядатися як нестаціонарний. Для його опису знадобиться задання характеру зміни потужності шумової завади $\sigma_ш{}^2$ по елементам розрізнення.

Якщо в моделі вхідних впливів бажано використовувати експериментальні розподіли інтенсивності НШЗ $\sigma_ш{}^2$, то зручно скористатися відомим гамма-розподілом (узагальненим розподілом потужності радіолокаційного сигналу) [5] (3), який узагальнює основні одномодальні закони розподілу та дозволяє апроксимувати з необхідним ступенем точності ті існуючі закони розподілу, які неможливо отримати у вигляді окремих випадків з більш простих (Хойта, Релея та ін.) розподілів:

$$W\left(\sigma_ш{}^2\right)=\frac{\beta^\alpha\cdot\left(\sigma_ш{}^2\right)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)}\cdot\exp\left(-\beta\cdot\sigma_ш{}^2\right), \quad (3)$$

де α,β – параметри форми; $\Gamma(z)$ – гамма-функція.

Формула для початкового моменту k-го порядку розподілу (3) має вигляд:

$$m_k=\Gamma(\alpha+k)\Big/\left(\beta^k\cdot\Gamma(\alpha)\right). \quad (4)$$

В практичних додатках розподіл потужності завад часто характеризують двома параметрами: середнім значенням потужності $m=\left\langle\sigma_ш{}^2\right\rangle$ та коефіцієнтом варіації – відносною величиною Δ, яка в свою чергу характеризує середній розмах флуктуацій потужності $\sqrt{\left\langle\left(\sigma_ш{}^2-\left\langle\sigma_ш{}^2\right\rangle\right)^2\right\rangle}=\sqrt{m_2-m^2}$ відносно середнього значення m:

$$\Delta=\frac{\sqrt{\left\langle\left(\sigma_ш{}^2-\left\langle\sigma_ш{}^2\right\rangle\right)^2\right\rangle}}{m}=\frac{\sqrt{m_2-m^2}}{m}, \quad (5)$$

де m_2 – другий початковий момент розподілу (1).

Звичайно, на практиці, величину m, приведену до рівня власного шуму $\sigma_{вл.ш}{}^2$, та величину Δ виражають в децибелах:

$$m_{[дБ]}=10\cdot\lg\left(\frac{\left\langle\sigma_ш{}^2\right\rangle}{\sigma_{вл.ш}{}^2}\right);\ \Delta_{[дБ]}=10\cdot\log_{10}(\Delta). \quad (6)$$

З (4), (5), з врахуванням того, що $\Gamma(\alpha+1)=\alpha\cdot\Gamma(\alpha)$, отримаємо:

$$\begin{cases} m=\dfrac{\Gamma(\alpha+1)}{\beta\cdot\Gamma(\alpha)}=\dfrac{\alpha}{\beta};\\ \Delta=\dfrac{\sqrt{m_2-m}}{m}=\sqrt{\dfrac{m_2}{m}-1}=\\ =\sqrt{\dfrac{\Gamma(\alpha+2)\cdot\Gamma(\alpha)}{\Gamma(\alpha+1)^2}-1}=\dfrac{1}{\sqrt{\alpha}},\end{cases} \quad (7)$$

тоді шукані параметри:

$$\alpha=\frac{1}{\Delta^2}; \quad (8)$$

$$\beta=\frac{\alpha}{m}=\frac{1}{m\cdot\Delta^2}. \quad (9)$$

Остаточно запишемо щільність розподілу (3) у вигляді:

$$W\left(\sigma_ø{}^2,m,\Delta\right)=$$

$$=\frac{\left(\sigma_ø{}^2\right)^{\frac{1}{\Delta^2}-1}}{\left(m\cdot\Delta^2\right)^{\frac{1}{\Delta^2}}\cdot\Gamma\left(\frac{1}{\Delta^2}\right)}\cdot\exp\left(-\frac{\sigma_ø{}^2}{m\cdot\Delta^2}\right). \quad (10)$$

Використання цього закону в якості імовірнісної моделі дозволяє в широких межах варіювати величину флуктуацій потужності нестаціонарної шумової завади (НШЗ) Δ при збережені її середнього значення m.

Беручи за основу умовний розподіл квадратурних компонент $u_c(t)=u_c$, $u_s(t)=u_s$:

$$W\left(u_c/\sigma^2{}_ш\right)=W\left(u_s/\sigma^2{}_ш\right)\to W\left(u/\sigma^2{}_ш\right)=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma_ш}\cdot\exp\left(-\frac{u^2}{2\cdot\sigma^2{}_ш}\right), \quad (11)$$

за формулою повної імовірності отримаємо безумовний розподіл

$$W(u,m,\Delta)=$$

$$=\int W\left(u/\sigma^2{}_ø\right)\cdot W\left(\sigma^2{}_ø,m,\Delta\right)d\sigma^2{}_ø. \quad (12)$$

Можливо показати, що якщо покласти параметр гамма-розподілу $m = \left\langle \sigma^2 \right\rangle$ (для спрощення запису індекс ш далі опустимо), то «перетворений» процес буде, як і вихідний, центрований та буде зберігати середнє значення потужності незмінним при будь-яких значеннях відносно рівня флуктуацій Δ. Розбіжності процесів будуть визначатися відмінністю моментів більш високого порядку.

Щільність імовірності «перетвореного» процесу (12) представлена у вигляді:

$$W(u,m,\Delta) = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi\cdot\sigma}}\cdot\exp\left(-\frac{u^2}{2\cdot\sigma^2}\right)\times$$
$$\times\frac{\left(\sigma^2\right)^{\Delta^{-2}-1}}{\left(m\cdot\Delta^2\right)^{\Delta^{-2}}\cdot\Gamma\left(\Delta^{-2}\right)}\cdot\exp\left(-\frac{\sigma^2}{m}\cdot\Delta^{-2}\right)d\sigma^2 =$$
$$= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}\cdot\left(m\cdot\Delta^2\right)\cdot\Gamma\left(\Delta^{-2}\right)}\cdot\left(\frac{u^2\cdot m\cdot\Delta^2}{2}\right)^{\frac{\Delta^{-2}-\frac{1}{2}}{2}}\times \tag{13}$$
$$\times K_{\Delta^{-2}-\frac{1}{2}}\left(\sqrt{\frac{2\cdot u^2}{\Delta^2\cdot m}}\right),$$

де $K_\nu(z)$ – модифікована функція Бесселя, її визначення, а також корисні розкладання та асимптотики приведені в [6].

На рис. 1 приведені щільність імовірності (11) $W\left(u/\sigma_ш{}^2 = 1\right)$ (крива 1) та щільність імовірності $W(u,m,\Delta)$ (13) при $m = \left\langle \sigma^2 \right\rangle = 1$, $\Delta = 0$; 5 дБ (криві 2 и 3 відповідно).

З аналізу кривих на рис. 1 слідує, що вихідний гауссівський розподіл перетворюється (з ростом Δ) в «квазілапласовий» (двохсторонній експоненційний).

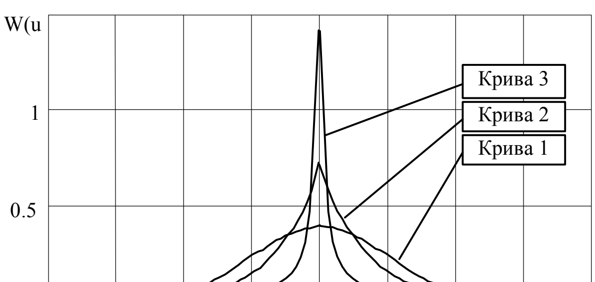


Рис. 1. Щільності імовірності використовуваних моделей

Щільність розподілу огинаючої $U = \sqrt{u^2{}_c + u^2{}_s}$ «перетвореного» процесу може бути знайдена з наступних міркувань. Будемо вважати квадратурні компоненти u_c, u_s однакової потужності, тоді умовні розподіли огинаючої, при розподіленні квадратурних компонент згідно (11), описується релеївською залежністю

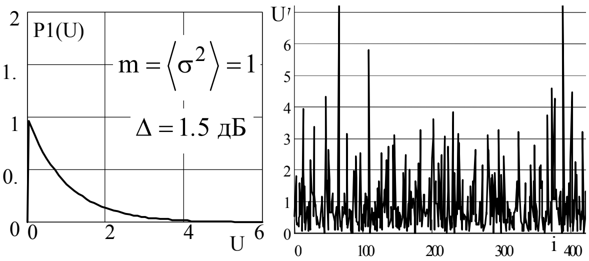
$$P\left(U/\sigma^2\right) = \frac{U}{\sigma^2}\cdot\exp\left(-\frac{U^2}{2\cdot\sigma^2}\right). \tag{14}$$

Проводячи усереднення аналогічно (12), знайдемо безумовну щільність розподілу огинаючої «перетвореного» процесу, квадратурні компоненти якого мають розподіл (13):

$$P(U,m,\Delta) = \int_0^\infty \frac{U}{\sigma^2}\cdot\exp\left(-\frac{U^2}{2\sigma^2}\right)\times$$
$$\times\frac{\left(\sigma^2\right)^{\Delta^{-2}-1}}{\left(m\cdot\Delta^2\right)^{\Delta^{-2}}\Gamma\left(\Delta^{-2}\right)}\cdot\exp\left(-\frac{\sigma^2}{m\cdot\Delta^2}\right)d\sigma^2, \tag{14}$$

З можливих варіантів опису щільності імовірності (14), які відповідають різним значенням Δ, виділимо два, описуємих в замкненому вигляді.

Модель 1 (рис. 2) відповідає параметру $\Delta = 1{,}5$ дБ, відповідну заваду називають імпульсним шумом [5] $P1(U,m,\Delta) = \frac{1}{m}\cdot\exp\left(-\frac{1}{m}\cdot U\right)$.



а б

Рис. 2. Модель 1. Щільність розподілу (а) та відповідна їй реалізація відліків імовірного процесу (б)

Модель 2 (рис. 3) описує щільність розподілу амплітуд при $\Delta = 5$ дБ:

$$P2(U,m,\Delta) = \frac{U}{\left(m\cdot\Delta^2\right)^{\Delta^{-2}}\cdot\Gamma\left(\Delta^{-2}\right)}\cdot\left(\frac{U^2}{2}\cdot m\cdot\Delta^2\right)^{\frac{\Delta^{-2}-1}{2}}\times$$
$$\times K_{\Delta^{-2}-1}\left(2\sqrt{\frac{U^2}{2\cdot m\cdot\Delta^2}}\right).$$

З аналізу реалізації відліків (рис. 1, 2) видно, що з ростом параметра Δ кількість викидів (відліків), які перевищили, наприклад, рівень $3\cdot\sigma$, збільшується. Щільна частина шумів зміщується в області малих значень, що забезпечує збереження середнього значення потужності незмінним. Характер процесу все більше наближається до імпульсного.

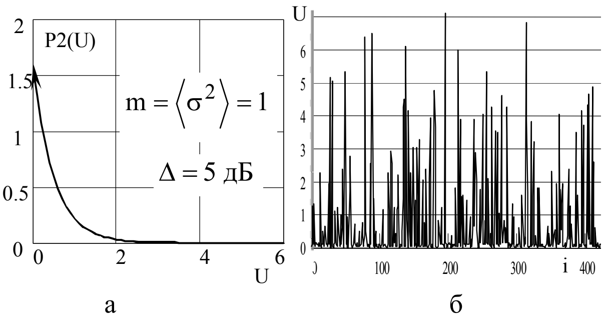


Рис. 3. Модель 2. Щільність розподілу (а) та відповідна їй реалізація відліків випадкового процесу (б)

По мірі подальшого зростання параметра Δ процес умовно може бути розділений на два компоненти: квазішумові відліки (практично маскуємі власним шумом приймача) та порівняно рідкісні потужні викиди (імпульси). Щільність імовірності як гамма-розподілу (10), так й «перетворених» процесів (13), (14) при цьому все більше «притуляється» до осей системи координат, «хвіст» цих щільностей все більше «затягнутий».

Висновки

На основі загального підходу (процес із змінною потужністю) запропонований набір моделей активних завад які описують шумову вибірку процесу в кільці (стробі) дальності при фіксації двох параметрів: середнього значення потужності (m) та відносного рівня флуктуацій (Δ).

Запропонований варіант опису доволі повно охоплюючий весь спектр можливих варіантів активних завад від маскуючої шумової до хаотичної імпульсної завади.

В якості імовірнісної моделі зміни потужності використаний узагальнений гамма-розподіл який узагальнює основні одномодальні закони розподілу.

Отримана замкнена форма запису для опису квадратурних складових та відповідна щільність розподілу огинаючої нестаціонарного шумового процесу. В останньому випадку отримані замкнені форми для двох окремих випадків.

Список літератури

1. Использование радиочастотного спектра и непреднамеренные помехи / [Егоров Е.И., Калашников А.С. и др.]. – М.: Радио и связь, 1985. – 320 с.

2. Быков В.В. Критерий и возможности массового заградительного радиоподавления РЭС в условиях высокой неопределенности их характеристик / В.В. Быков // Радиотехника. – 2000. – № 6. – С. 37-41.

3. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Палий. – М.: Воениздат, 1989. – 420 с.

4. Радиоэлектронные системы / [Ширман Я.Д., Багдасарян С.Т., Маляренко А.С. и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника,2007. – 512 с.

5. Карпов И.Г. Обобщенные вероятностные модели флуктуаций амплитуды радиолокационных сигналов / И.Г. Карпов // Радиотехника. – 2001. – № 4. – С. 77-82.

6. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Физматгиз, 1962. – 1100 с.

Надійшла до редколегії 9.06.2010

Рецензент: д-р техн.. наук, доц. Р.Є. Пащенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОБОБЩЕННАЯ ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ФЛУКТУАЦИЙ АМПЛИТУДЫ ОТСЧЕТОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ШУМОВОЙ ПОМЕХИ

А.А. Грызо, И.М. Невмержицкий, О.Б. Обозовский

Предложен вариант описания флуктуаций амплитуды отсчетов активной помехи, который охватывает широкий спектр возможных вариантов активных помех от маскирующей шумовой до хаотичной импульсной помехи. В качестве вероятностной модели изменения мощности использовано обобщенное гамма-распределение. Для описания нестационарного шумового процесса получена замкнутая форма записи для квадратурных составляющих и соответствующей плотности распределения огибающей.

Ключевые слова: *импульсные помехи, нестационарная шумовая помеха, гамма-распределение.*

THE GENERALIZED PROBABILITY MODEL OF AMPLITUDE FLUCTUATIONS READOUT NON-STATIONARY NOISE

A.A. Gryzo, I.M. Nevmerzhitsky, O.B. Obozovsky

The variant of the description of amplitude fluctuations readout of an active noise which covers a wide spectrum of possible variants of active noise from masking noise up to a chaotic pulse noise. In quality probability models of change of capacity the generalized gamma - distribution is used. For the description non-stationary noise process the closed form of record for real components and the corresponding density of distribution bending around is received.

Keywords: *pulse noise, non-stationary noise, gamma - distribution.*