

**ЛЕКЦИЯ №16.** Различные типы сигналов в РТС. Каталог сигналов. Последовательности импульсов. Свойства ЛЧМ сигнала, его спектр и автокорреляционная функция.

## РАЗРЕШЕНИЕ СИГНАЛОВ. КАТАЛОГ СИГНАЛОВ

### 4.2. КАТАЛОГ СИГНАЛОВ

Используемые в радиотехнике сигналы можно классифицировать на три основных класса по виду функции неопределенности, которая бывает: гребневидной (Рис.4.3) для сигналов класса I; многолепестковой (Рис.4.4) для сигналов класса II; кнопочной (Рис.4.5) для сигналов III класса.

Сигналы I-го класса используются в основном для измерения одного параметра, при этом они часто могут быть невосприимчивы к изменению другого параметра, что иногда бывает важным достоинством выбранного сигнала.

Сигналы II-го класса используются для одновременного измерения двух параметров и часто имеют достаточно высокую точность, однако недостатком является небольшая область однозначности измерения параметров.

Сигналы III-го класса формально имеют идеальную ФН для одновременного измерения 2-х параметров, но при этом у этих сигналов часто относительно высокий уровень боковых лепестков.

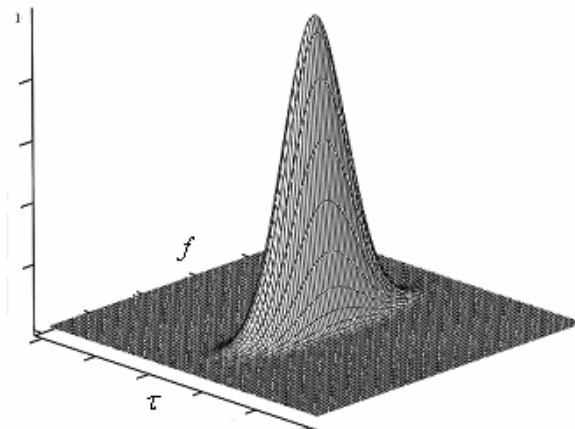


Рис.4.3. Частотновременная функция неопределенности гребневидного типа.

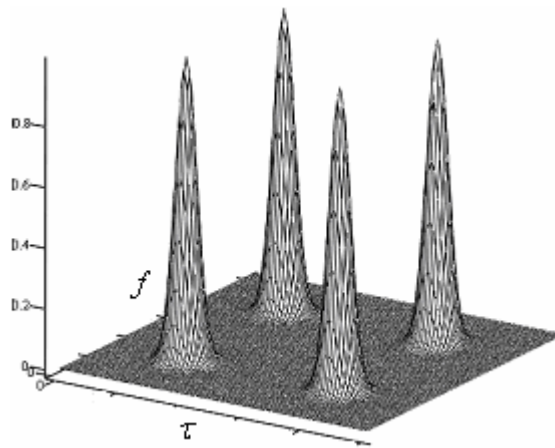


Рис.4.4. Частотновременная функция неопределенности многопесткового типа.

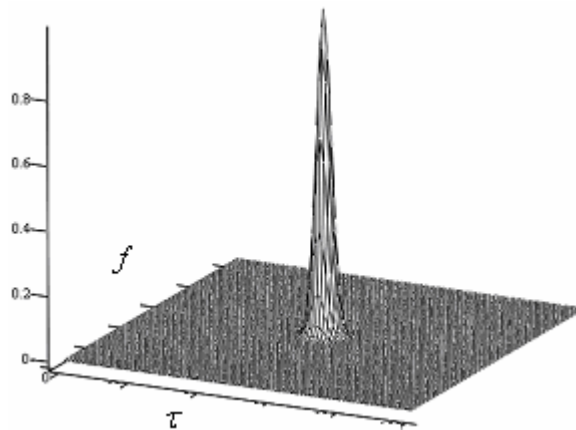


Рис.4.5. Частотновременная функция неопределенности кнопочного типа.

#### 4.2.1. Сигналы с гребневидной функцией неопределенности

##### а) Прямоугольный импульс

Найдем функцию неопределенности прямоугольного импульса, заданного в виде

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta}\right), \text{ где } \text{rect}(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & |t| > \frac{1}{2} \end{cases}. \quad (4.6)$$

Пусть  $\tau > 0$ , тогда

$$\begin{aligned} \Psi(\tau, f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta}\right) \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \text{rect}\left(\frac{t-\tau}{\Delta}\right) \exp(j2\pi ft) dt = \\ &= \frac{1}{\Delta} \int_{-\frac{\Delta}{2} + \tau}^{\frac{\Delta}{2}} \exp(j2\pi ft) dt = \frac{1}{j2\pi f \Delta} (\exp(j\pi f \Delta) - \exp(-j\pi f \Delta) \exp(j2\pi f \tau)). \end{aligned} \quad (4.7)$$

При  $\tau < 0$ , получим

$$\Psi(\tau, f) = \frac{1}{j2\pi f\Delta} (\exp(j\pi f\Delta) \exp(j2\pi f\tau) - \exp(-j\pi f\Delta)). \quad (4.8)$$

При  $\tau = 0$

$$\Psi(0, f) = \frac{1}{\Delta} \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} \exp(j2\pi ft) dt = \frac{\sin \pi f\Delta}{\pi f\Delta}. \quad (4.9)$$

При  $f = 0$

$$\Psi(\tau, 0) = \text{rect}\left(\frac{\tau}{2\Delta}\right) \frac{1 - |\tau|}{\Delta}. \quad (4.10)$$

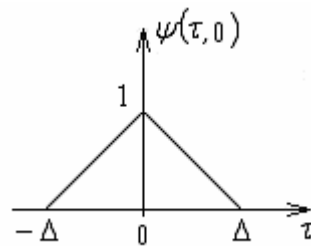


Рис.4.6. Временное сечение ФН прямоугольного импульса

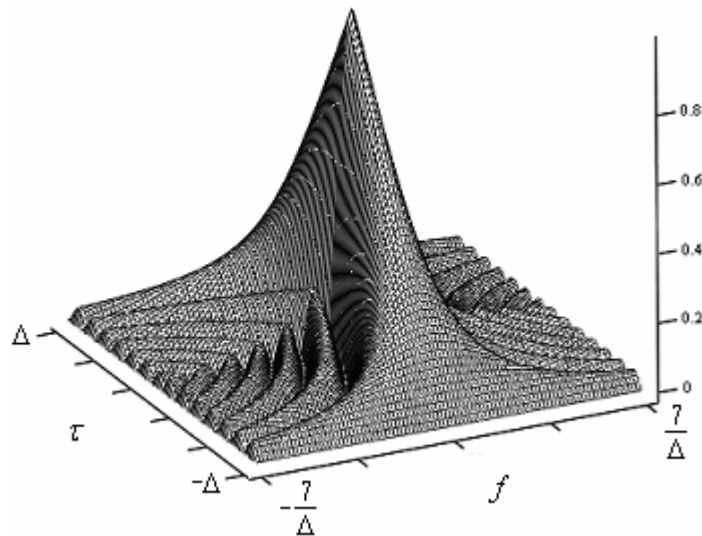


Рис.4.7. Модуль частотно-временной ФН прямоугольного импульса.

Ширина основного лепестка частотно-временной ФН прямоугольного импульса в сечении задержки по уровню 0.5 в соответствии с (4.10) равна  $\Delta$ . Ширина основного лепестка ФН прямоугольного импульса в сечении частоты по первому нулю в соответствии с (4.9) равна  $\frac{2}{\Delta}$ .

Таким образом, чем меньше длительность прямоугольного импульса, тем хуже его разрешение по частоте и соответственно лучше по задержке. Подобное свойство противоречивости требований высокого разрешения по задержке и по частоте характерный признак так называемых **простых сигналов**. У таких

сигналов база  $B = \Delta f \Delta t \approx 1$ . Нетрудно убедиться в справедливости этого факта в случае прямоугольного импульса, действительно, если оценивать полосу частот прямоугольного импульса по первым нулям в спектре, то  $B = \Delta \cdot \frac{2}{\Delta} = 2$ .

Сигналы, у которых  $B \gg 1$  называются **сложными сигналами**. Примером таких сигналов является импульс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

**б) Импульс с линейной частотной модуляцией**

ЛЧМ сигнал задается следующим выражением

$$\dot{S}(t) = \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta}\right) \exp(j\pi\alpha t^2). \quad (4.11)$$

У этого сигнал мгновенная частота  $f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \pi\alpha t^2 = \alpha t$ , полоса частот равна соответственно  $\Delta f = \alpha \Delta$ .

Найдем функцию неопределенности ЛЧМ импульса. Пусть  $\tau > 0$ , тогда

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}(\tau, f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta}\right) \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \text{rect}\left(\frac{t-\tau}{\Delta}\right) \exp(j\pi\alpha t^2 - j\pi\alpha(t-\tau)^2 + j2\pi f t) dt = \\ &= \frac{1}{\Delta} \int_{-\frac{\Delta}{2}+\tau}^{\frac{\Delta}{2}} \exp(j\pi\alpha t^2 - j\pi\alpha(t-\tau)^2 + j2\pi f t) dt = \\ &= \frac{1}{\Delta} \exp(-j\pi\alpha\tau^2) \frac{\left( \exp\left(j2\pi(\alpha\tau + f)\frac{\Delta}{2}\right) - \exp\left(j2\pi(\alpha\tau + f)\left(-\frac{\Delta}{2} + \tau\right)\right) \right)}{j2\pi(\alpha\tau + f)}. \end{aligned} \quad (4.12)$$

При  $\tau < 0$ , получим

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}(\tau, f) &= \\ &= \frac{1}{\Delta} \exp(-j\pi\alpha\tau^2) \frac{\left( \exp\left(j2\pi(\alpha\tau + f)\left(\frac{\Delta}{2} + \tau\right)\right) - \exp\left(-j2\pi(\alpha\tau + f)\frac{\Delta}{2}\right) \right)}{j2\pi(\alpha\tau + f)}. \end{aligned} \quad (4.13)$$

При  $\tau = 0$

$$\dot{\Psi}(0, f) = \frac{(\exp(j\pi f \Delta) - \exp(-j\pi f \Delta))}{j2\pi f \Delta} = \frac{\sin(\pi f \Delta)}{\pi f \Delta}. \quad (4.14)$$

При  $f = 0$

$$\dot{\Psi}(\tau, 0) = \text{rect}\left(\frac{\tau}{2\Delta}\right) \frac{(1 - |\tau|)}{\Delta} \frac{\sin(\pi\alpha\tau(\Delta - |\tau|))}{\pi\alpha\tau(\Delta - |\tau|)}. \quad (4.15)$$

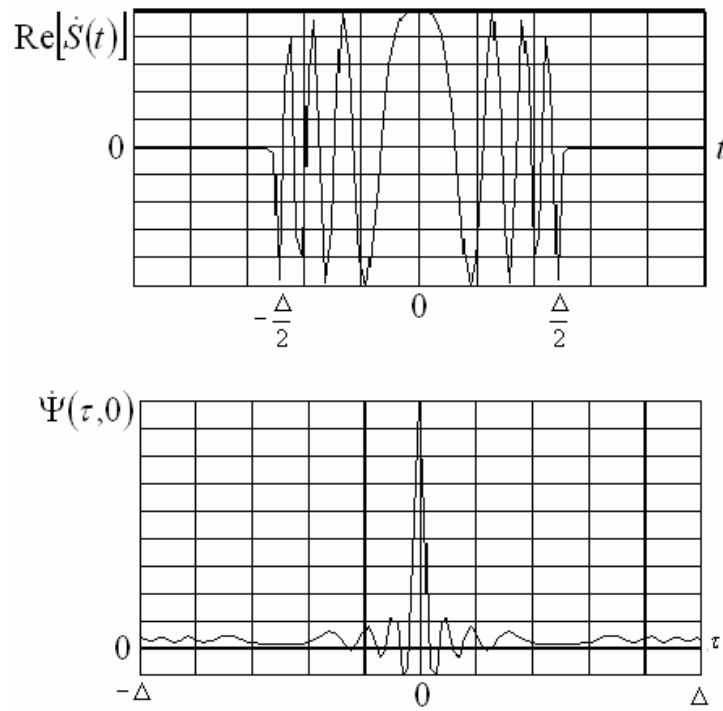


Рис.4.8. ЛЧМ импульс и его временная функция неопределенности.

Ширина основного лепестка частотновременной ФН прямоугольного импульса в сечении задержки в соответствии с (4.14) по первому нулю  $\approx \frac{1}{\alpha \Delta} = \frac{1}{\Delta f}$ , где  $\Delta f$  - полоса частот (**девиация частоты**) ЛЧМ импульса.

Из анализа Рис.4.8 можно обратить внимание на тот факт, что длительность ЛЧМ импульса на выходе согласованного фильтра значительно меньше.

Коэффициент временного сжатия импульса

$$k_{сжс} = \Delta^2 \alpha = \Delta f \Delta = B,$$

где  $B$  - база сигнала, которая в данном случае определяется значением девиации частоты и может быть сделана сколь угодно большой при фиксированной длительности сигнала.

Т.о. сигналы с большой базой на выходе согласованного фильтра сжимаются по длительности на величину, равную базе сигнала. Это свойство часто используется в радиолокации, чтобы уменьшить требования к пиковой мощности передатчика при сохранении разрешающей способности РЛС по задержке.

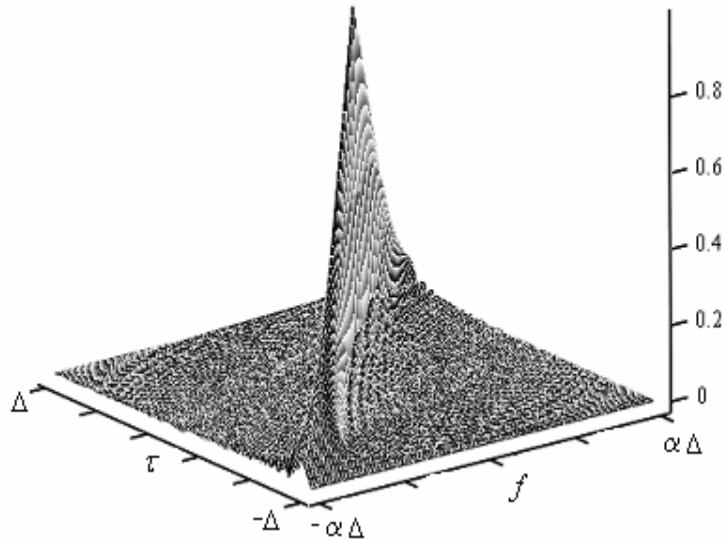


Рис.4.9. Модуль частотновременной ФН ЛЧМ импульса.

Из Рис.4.9 видно, что ЛЧМ импульс относится к сигналам I-го класса, только в отличие от ФН прямоугольного импульса, гребень ФН ЛЧМ сигнала развернут в плоскости время-частота вдоль линии  $(\alpha\tau + f) = 0$ .

Эта особенность приводит к известному в радиолокации эффекту **слепых скоростей**. Эффект проявляется в том, что цели, радиальная составляющая скорости которых  $V = \frac{\alpha}{f_0} R$ , неразличимы для РЛС, зондирующий импульс которых имеет линейную частотную модуляцию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используемые в радиотехнике сигналы можно классифицировать на три основных класса по виду функции неопределенности, которая бывает: гребневидной; многолепестковой; кнопочной. Сигналы I-го класса используются в основном для измерения одного параметра, сигналы II-го класса используются для одновременного измерения двух параметров в ограниченной области однозначности, сигналы III-го класса имеют идеальную ФН для одновременного измерения 2-х параметров, но при этом у этих сигналов часто относительно высокий уровень боковых лепестков.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как в СТРТС классифицируют сигналы по виду функции неопределенности?
2. Какие сигналы в СТРТС называют сложными?
3. В чем заключается эффект слепых скоростей в РЛС, использующих ЛЧМ сигналы?