

*Солодовников А.Ю.*

*Курсант*

*4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

*Купцов Н.А.*

*Курсант*

*4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

*Куницын В.М.*

*Курсант*

*4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

*Глижинский А.А.*

*Курсант*

*4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

*Научный руководитель: Дуксин В.В. старший преподаватель*

*Старший преподаватель кафедры «Радиотехнические комплексы»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

### **АНАЛИЗ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ РЛС РТВ**

*Аннотация. В статье рассматривается проблема анализа зондирующих сигналов радиотехнических войск, проведен анализ данных сигналов, установлена взаимосвязь пространственно временных структур данных сигналов на их тактико-технические характеристики, делается вывод о целесообразности применения того или иного зондирующего сигнала*

*Ключевые слова: анализ, зондирующие сигналы, радиотехнические войска, волна, сигнал.*

***Annotation.** The article deals with the problem of analysis of probing signals of radio troops, the analysis of these signals is established the relationship of spatially temporal structures of these signals on their tactical and technical characteristics, the conclusion about the appropriateness of the use of a probing signal.*

***Key words:** analysis, probing signals, radio engineering troops, wave, signal.*

Все радиолокационные зондирующие сигналы можно разделить на импульсные, квазинепрерывные и линейные. Импульсные и квазинепрерывные зондирующие сигналы представляют собой последовательность радиоимпульсов, длительность которых значительно меньше или просто меньше периода повторения.

Наибольший интерес для меня будут представлять простой радиоимпульс с простым немодулированным несущим колебанием; ЛЧМ радиоимпульс с частотно модулированным по линейному закону несущим колебанием; КФМ радиоимпульса – радиоимпульс с кодофазовой модуляцией, с огибающей которая для всех рассматриваемых сигналов наиболее часто аппроксимируется в прямую и в дальнейшем буду использовать именно прямоугольную аппроксимацию огибающей.

Простой радиоимпульс. Для аналитической модели выберем данные выражения:

$$u_0(t) = \begin{cases} E_0 e^{i(\omega_0 t + \varphi_0)}, & |t| \leq \frac{T_0}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{T_0}{2}. \end{cases}$$

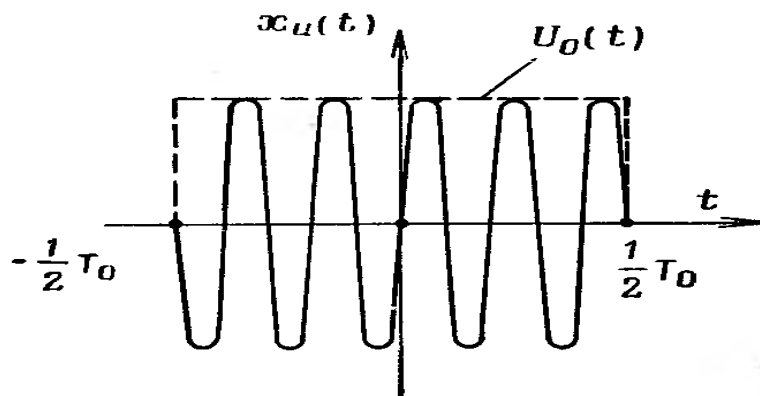


Рисунок 1. Временное представление одиночного радиоимпульса

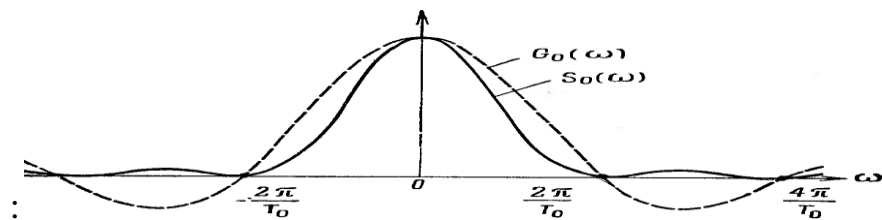


Рисунок 2. Спектр и энергетический спектр одиночного радиоимпульса

Аналитическое выражение энергетического спектра:

$$S_0(\omega) = \frac{1}{T_0} |G_0(\omega)|^2 = T_0 \left| \frac{\sin \frac{\omega T_0}{2}}{\frac{\omega T_0}{2}} \right|^2.$$

Аналитическое выражение для спектра:

$$G_0(\omega) = \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} e^{-i\omega t} dt = T_0 \frac{\sin \frac{\omega T_0}{2}}{\frac{\omega T_0}{2}};$$

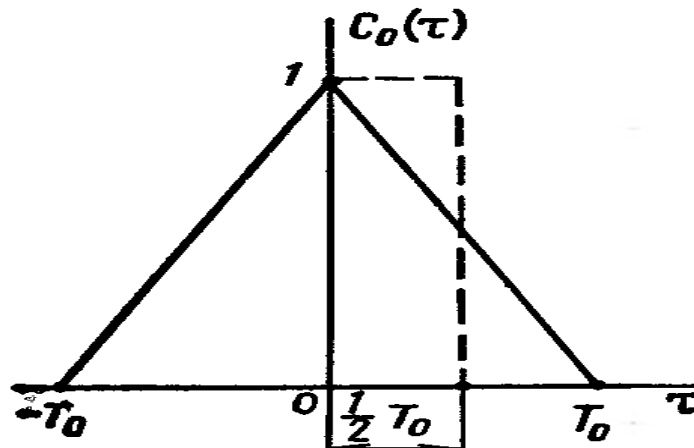


Рисунок 3: Корреляционная функция

$$C_0(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{\infty} U_0(t) U_0^*(t - \tau) dt$$

Функция неопределенности простого прямоугольного радиоимпульса:

$$\rho_0(\tau, F) = \left| \frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{\infty} U_0(t) U_0^*(t - \tau) e^{-t2\pi Ft} dt \right|^2 =$$

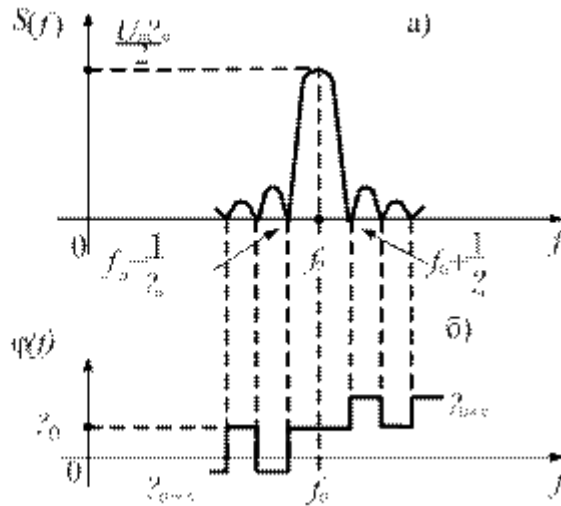


Рисунок 4: Фазочастотный спектр

Из анализа графиков и аналитических выражений следует:

- АЧС одиночного прямоугольного радиоимпульса сплошной, сосредоточен в окрестности несущей частоты.
- Огибающая спектра изменяется по закону  $|\sin x/x|$ .

- Максимальное значение АЧС при  $f = f_0$   $S(f_0) = \frac{U_m \cdot \tau_s}{2}$ .
- Ширина спектра на уровне 90% энергии сигнала  $\Delta f_s = \frac{1,62}{\tau_s}$ .
- ФЧС в пределах нечетных лепестков равен  $\Psi_{\Phi}$ , в пределах четных  $-\Psi_{\Phi} \pm \pi$ .
- База сигнала  $n = \Delta f_s \cdot \tau_s = 1,62$ , т.е. сигнал является простым и узкополосным.
- АЧС модулирующей функции смещается на частоту несущего колебания.
- Максимальное значение модуля спектральной плотности (АЧС) уменьшается в два раза.
- Сформированный таким образом спектр зеркально отображается относительно несущей частоты.

Достоинством узкополосных сигналов является относительная простота их формирования и оптимальной обработки. Формирование таких импульсов обеспечивается путем достаточно простой импульсной модуляции генератора СВЧ, а квазиоптимальным фильтром является УПЧ приемника с согласованной шириной полосы пропускания. Простые сигналы применялись в первых импульсных РЛС и находят широкое применение и в настоящее время ввиду простоты технической реализации соответствующих устройств генерирования и обработки. Данный тип зондирующего сигнала реализован в маловысотной станции Радиотехнических войск боевого режима 19Ж6.

ЛЧМ радиоимпульс линейному закону частотной модуляции:

$$v(t) = 2\pi \frac{\Delta f_M}{T_0} \cdot t$$

соответствует квадратичный закон фазовой модуляции:

$$\Psi(t) = \int_0^t \nu(x) dx = \pi \frac{\Delta f_M}{T_0} t^2,$$

Представлю ЛЧМ радиоимпульс в следующей форме записи:

$$u_0(t) = \begin{cases} E_0 e^{i\pi \frac{\Delta f_M}{T_0} t^2} e^{i(\omega_0 t + \varphi_0)}, & |t| \leq \frac{T_0}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{T_0}{2}, \end{cases}$$

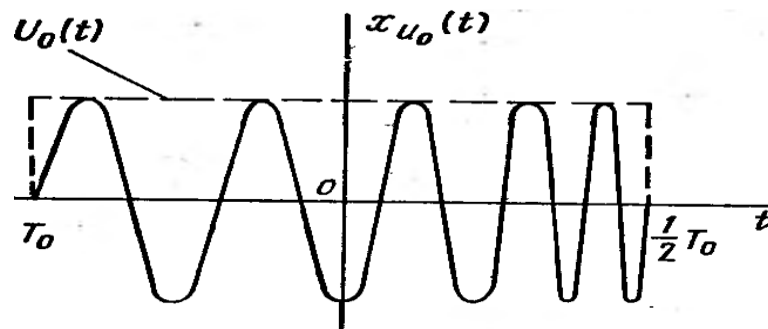


Рисунок 5: ЛЧМ радиоимпульс во временной области

Аналитическое выражение для фазочастотного спектра:

$$\arg G_0(\omega) = -\frac{T_0}{4\pi\Delta f_M} \omega^2 + \operatorname{arctg} \frac{S(x_1) + S(x_2)}{C(x_1) + C(x_2)}$$

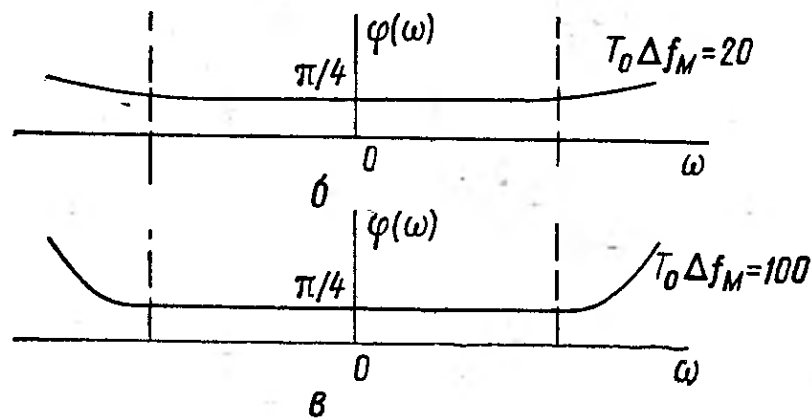


Рисунок 6: Фазочастотный спектр ЛЧМ радиоимпульса для различного значения базы

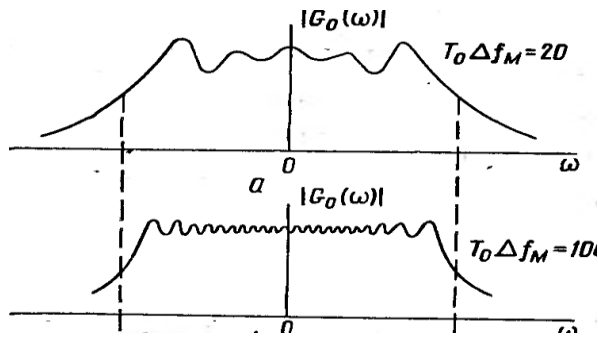


Рисунок 7: Спектр ЛЧМ радиоимпульса с различной базой

Аналитическое выражение спектра:

$$S_0(\omega) = \frac{1}{T_0} |G_0(\omega)|^2 = \begin{cases} \frac{1}{\Delta f_M}, & |\omega| \leq \pi \Delta f_M; \\ 0, & |\omega| > \pi \Delta f_M. \end{cases}$$

Аналитическое выражение для АКФ:

$$C_0(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_0(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega = \frac{1}{2\pi\Delta f_M} \int_{-\pi\Delta f_M}^{\pi\Delta f_M} e^{i\omega\tau} d\omega = \frac{\sin \pi \Delta f_M \tau}{\pi \Delta f_M \tau}.$$

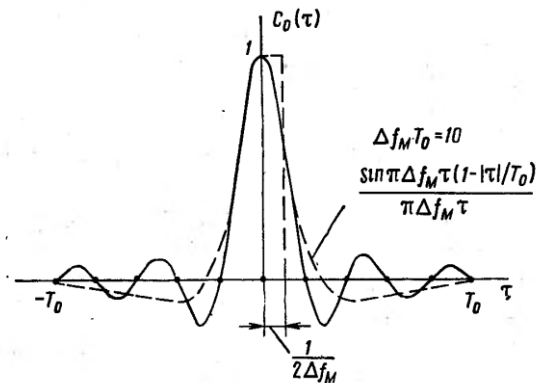


Рисунок 8: График АКФ

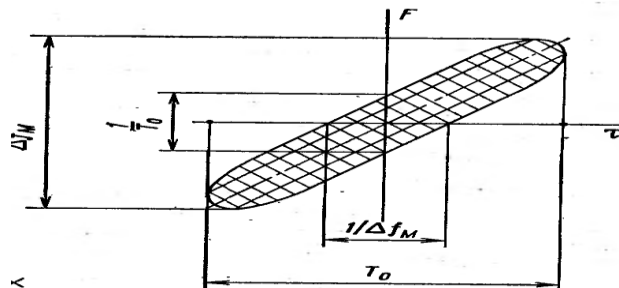


Рисунок 9: Сечение неопределенности ЛЧМ радиоимпульса

Таким образом, можно сделать выводы:

- АЧС сигналов с ЛЧМ является сплошным.

- Огибающая АЧС определяется формой огибающей сигнала.
- Максимальное значение АЧС определяется энергией сигнала, которая в свою очередь, прямопропорциональна амплитуде и длительности сигнала.

- Ширина спектра равна  $\Delta\omega = \omega_{max} - \omega_{min}$  где  $\Delta\omega$  – девиация частоты и не зависит от длительности сигнала.

- База сигнала (коэффициент широкополосности)  $n = T_s \cdot \Delta f$  может быть  $n \gg 1$ . Поэтому ЛЧМ сигналы называют широкополосными.

Сечение тела неопределенности не показал, что ЛЧМ сигналом мы можем с достаточно высокой точностью изменить либо скорость цели либо дальность до нее.

Линейно-частотно модулированный сигнал применяется в большинстве станций боевого режима не только радиотехнических войск но и станций наведения зенитно-ракетных войск к примеру 59Н6-Е, в ВВ0, цифровая обработка дала возможность упростить обработку данного сигнала, к примеру в настоящее время возможно добиться коэффициента сжатия с помощью фильтра в 20 раз, что еще раз подчеркивает перспективность данного сигнала.

Кодофазовомодулированный радиоимпульс - представляет собой последовательность примыкающих друг к другу простых прямоугольных радиоимпульсов и описывается выражением.

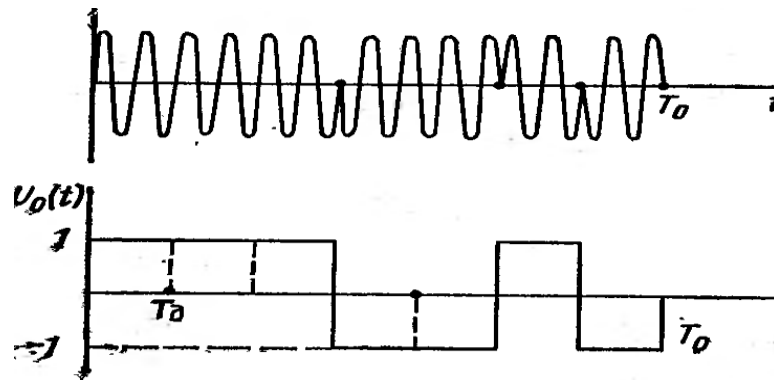
$$u_0(t) = \begin{cases} E_0 \sum_{k=1}^{N_\partial} d_k U_\partial [t - (k-1) T_\partial] e^{i(\omega_0 t + \varphi_0)}, & 0 \leq t \leq T_0, \\ 0, & t < 0, t > T_0, \end{cases}$$

Где:

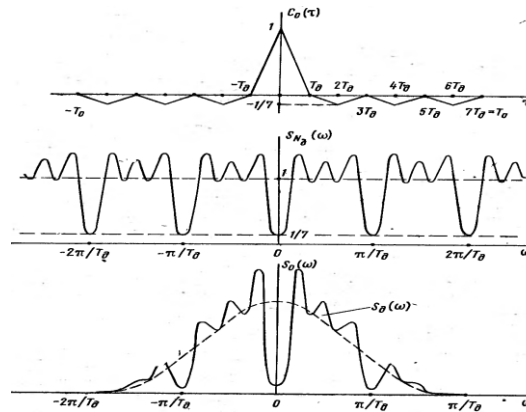
$$d_k = e^{i\psi_k},$$

$$U_\partial(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_\partial; \\ 0, & t < 0, t > T_\partial \end{cases}$$

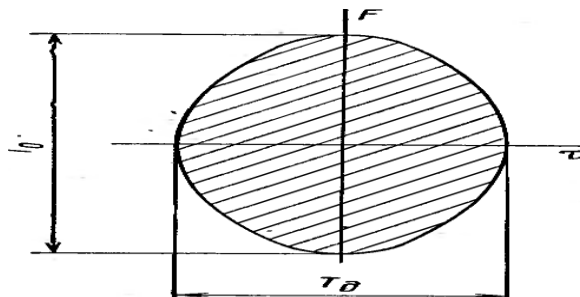




**Рисунок 10: КФМ в временной области с его огибающей**



**Рисунок 11: Корреляционная функция энергетические спектры кода и закон его модуляции**



**Рисунок 12: Сечение тела неопределенности во время частотой области КФМ сигнала**

Из данных графиков можно сделать вывод:

- КФМ радиоимпульсы длительностью  $T_z$  представляют собой совокупность следующих друг за другом без интервалов  $N$  элементарных радиоимпульсов, длительность каждого из них одинакова и

равна  $\tau_{\text{э}} = \tau_{\text{к}}/N$ . Амплитуды и частоты элементарных импульсов одинаковы, а начальные фазы могут отличаться на  $\pi$  (или какое-либо другое значение). Закон (код) чередования начальных фаз определяется назначением сигнала. Для ФКМ радиоимпульсов, используемых в радиолокации разработаны соответствующие коды, например:

+1, +1, -1 - трехэлементные коды

$\left. \begin{array}{l} +1, +1, -1, +1 \\ +1, +1, +1, -1 \end{array} \right\}$  - два варианта четырехэлементного кода

+1 +1 +1, -1, -1, +1, -2 - семиэлементный код

- Спектральную плотность кодированных импульсов определяют, используя свойство аддитивности преобразований Фурье, в виде суммы спектральных плотностей.

- Данный тип зондирующего сигнала также нашел применение в станциях радио технических войск таких, к примеру, как 55Ж6 и ее модификациях - данный сигнал, благодаря, кодам Баркера обеспечивает коэффициент сжатия равный разрядности кода.

Приведенные данные показывают: данные сигналы в различных областях (временной, частотной), показывают нам их характеристики, такие как спектр, представление во временной области, автокорреляционная функция, сечение их тел неопределенности, форму их спектра. В не зависимости от того какие мы используем виды сигналов, возможно достичь улучшения параметров радиолокационных станций, таких как дальность обнаружения, разрешающая способность по угловым координатам дальности и угловым координатам. Однако из-за неопределенностей в измерении дальности и скорости зависят полностью от того какой тип сигнала в зависимости от того какие задачи будет выполнять наша станция мы будем выбирать тот или иной вид зондирующего. Также остро стоит вопрос помехоустойчивости, у всех сложных сигналов большие максимумы у боковых лепестков, что открывает возможность для

подавление станций с сложными сигналами. Перед радиолокационными станциями Радиотехнических войск не стоит задачи в обеспечении большой точности измерения координат цели и благодаря этому все выше перечисленные сигналы применяются в радиолокационных станциях Радиотехнических войск.

#### **Использованные источники:**

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы.-ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2003- с 11- 65.
2. Радиотехнические цепи и сигналы . – Красноярский государственный технический университет (Сибирский Федеральный университет) (КГТУ(СФУ)). С 4.
3. Мир Знаний. [Электронный ресурс] URL: <http://mirznanii.com/a/120693/tipovye-odinochnye-signaly> (Дата обращения 04.03.2019).