

УДК 355.42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОЗНАЧНОГО ЗНАЧЕНИЯ РАЗНОСТИ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛА В ДВУХКАНАЛЬНОМ ПАССИВНОМ ГИДРОЛОКАТОРЕ НА ОСНОВЕ КОГЕРЕНТНОГО НАКОПЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Нгуен Д. Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Пеленг объекта определяется на основе разности времени задержки сигнала в двухканальном пассивном гидролокаторе [1]. Время задержки сигнала в каждом канале приема соответствует отклонению середины первого импульса периодического полезного сигнала относительно времени начала накопления [2]. Определение однозначного значения времени задержки (соответственно однозначного значения разности времени задержки) в пассивном гидролокаторе обеспечит выделение полезного сигнала на фоне помех и ревербераций и повышение точности измерения пеленга объекта [3].

Рассматривается принцип появления дополнительных фазовых сдвигов спектральных компонентов путем анализа амплитудно-фазочастотной характеристики (АФЧХ) фильтров и процесс компенсации этих фаз для определения однозначного значения времени задержки полезного сигнала способом когерентного накопления спектральных составляющих.

При выделении спектральных составляющих полезного сигнала с помощью цифровых фильтров БПФ, базовая частота сигнала не всегда совпадает с частотой резонанса фильтра.

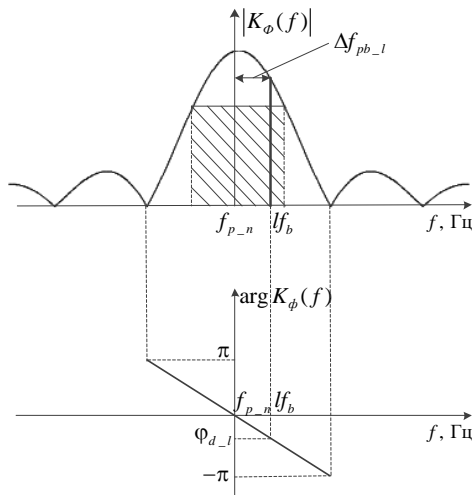


Рисунок 1 – АФЧХ фильтров и объяснение появления дополнительных фазовых сдвигов, возникающих из-за несовпадения базовой частоты гармоники полезного сигнала и резонансной частоты фильтра, в который она попала

На рисунке 1 представлена АФЧХ одного фильтра БПФ с номером n для выделения спектральных составляющих полезного сигнала и

объяснение появления дополнительного фазового сдвига φ_d . Используются обозначения: f_{p-n} – резонансная частота фильтра БПФ с номером n ; f_b – базовая частота сигнала, Гц.

При попадании спектральной составляющей сигнала с частотой lf_b в фильтр с номером n но не равной резонансной частоте фильтра появляется дополнительный фазовый сдвиг φ_{d-l} , $l = \overline{1, L}$, где L – число спектральных составляющих сигнала при когерентном накоплении. Этот сдвиг определяется разностью частот Δf_{pb-l} и ФЧХ фильтра.

Для повышения отношения сигнал/помеха в полосе пропускания фильтра при обнаружении объекта способом когерентного накопления надо учесть дополнительные фазовые сдвиги φ_{d-l} накапливаемых спектральных составляющих с частотами lf_b . При реализации способа когерентного накопления компенсация фаз для всех выбранных спектральных составляющих проводится с учетом компенсации дополнительных фазовых сдвигов, тогда выражение для квадрата модуля суммы спектральных составляющих имеет вид

$$|\xi_{\Sigma_kom}(t_z)|^2 = \left| \sum_{l=1}^L G_l(f_b) \exp(-j \cdot 2\pi \cdot lf_b \cdot t_z - j\Delta\varphi_{d-l}) \right|^2,$$

где $G_l(f_b)$ – спектральная составляющая сигнала с частотой $\omega(l) = l2\pi f_b$.

Рассмотрим результаты моделирования. Если полезный сигнал описывается некоторой функцией времени $u_s(t)$, то на выходе акустоэлектрического преобразователя приемной антенны формируется смесь полезного сигнала, сигналов ревербераций и помех [4]:

$$u(t) = Au_s(t - \frac{r_0}{C_v}) + \sum_j^{J_R} a_j u_s(t - \frac{r_j}{C_v}) + u_n(t),$$

где A , r_0 – амплитуда полезного сигнала и расстояние между объектом и приемной антенной; J_R – число отражателей, от которых создаются переотражения (реверберации) полезного сигнала; a_j , r_j – случайные величины, соответствующие амплитудам и расстояниям по линии распространения j -й волны ревербераций,

$j = \overline{1, J_R}$; $u_n(t)$ – помеха.

При моделировании представим полезный сигнал как последовательность видеоимпульсов с прямоугольной огибающей со следующими параметрами: частота повторения полезного сигнала $f_r = 20$ Гц; длительность импульса $T_0 = 3$ мс; истинное значение времени задержки сигнала $t_{Z_ist} = 15$ мс; $u_n(t)$ – помеха в виде белого шума в полосе приема; число спектральных составляющих при когерентном накоплении $L = 8$; число ревербераций при моделировании $J_R = 2$.

Время задержки определяется максимальной квадрата модуля суммы спектральных составляющих сигнала [2]. На рисунке 2 показана зависимость значения квадрата модуля суммы, формируемой без компенсации дополнительных фазовых сдвигов и предствленной в виде:

$$|\xi_{\Sigma_bez}(t_Z)|^2 = \left| \sum_{l=1}^8 G_l(f_r) \exp(-j \cdot 2\pi \cdot l f_r \cdot t_Z) \right|^2.$$

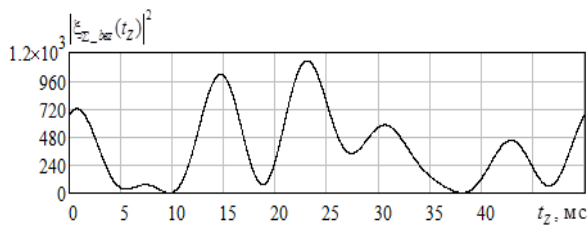


Рисунок 2 – Зависимость $|\xi_{\Sigma_bez}(t_Z)|^2$ от времени задержки

Из рисунка 2 видно, что на графике имеет два максимума:

первый $|\xi_{\Sigma_bez}(t_Z = 0,023 \text{ с})|^2 = 1127$;

второй $|\xi_{\Sigma_bez}(t_Z = 0,01495 \text{ с})|^2 = 1006$.

Появление нескольких максимумов, это приводит к неоднозначному определению значения времени задержки полезного сигнала. Неправильное определение времени задержки приводит к ошибке измерения разности времени задержки сигнала в двухканальном пассивном гидролокаторе и, соответственно, к ошибке измерения пеленга объекта.

Далее рассмотрим результат определения времени задержки сигнала при когерентном накоплении спектральных составляющих с компенсацией дополнительных фазовых сдвигов. Результат расчета дополнительных фазовых сдвигов для 8 первых накапливаемых спектральных составляющих (СС) полезного сигнала показан в таблице.

На рисунке 3 показана зависимость квадрата модуля суммы $|\xi_{\Sigma_kom}(t_Z)|^2$ от времени задержки

при компенсации дополнительных фазовых сдвигов.

№ СС	Частота СС, Гц	Номер фильтра, в который попадает СС	Φ_{d_l} , рад.
1	f_r	59	0,168
2	$2f_r$	119	-1,392
3	$3f_r$	178	0,358
4	$4f_r$	238	-1,034
5	$5f_r$	297	0,715
6	$6f_r$	357	-0,677
7	$7f_r$	416	1,073
8	$8f_r$	476	-0,319

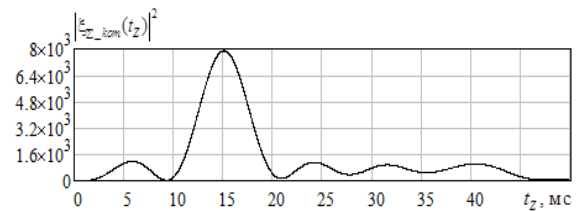


Рисунок 3 – Зависимость $|\xi_{\Sigma_kom}(t_Z)|^2$ от времени задержки

Из рисунка 3 видно, что зависимость имеет только один максимум $|\xi_{\Sigma_kom}(t_Z = 0,015 \text{ с})|^2 = 7873$.

Из результатов видно, что при компенсации дополнительных фазовых сдвигов уровень максимума квадрата модуля суммы повышается в $7873 / 1006 = 7,82$ раза (соответственно и отношение сигнал/помеха), что обеспечивает точное определение времени задержки полезного сигнала $t_Z = t_{Z_ist} = 15$ мс.

1. Гейстер С. Р., Нгуен Д. Н. Измерение пеленга движущихся объектов с использованием когерентного накопления спектральных составляющих сигнала в пассивном гидролокаторе // Доклад БГУИР. – 2017. – № 3 (105). – С. 52–57.
2. Гейстер С. Р., Нгуен Д. Н. Способ когерентного накопления спектральных составляющих принятого сигнала в пассивном гидролокаторе // Наука и военная безопасность. – 2016. – № 3(50). – С. 36–38.
3. Нгуен Д. Н. Анализ возможностей защиты от сигналов реверберации в пассивном гидролокаторе при когерентном накоплении спектральных составляющих // Технические средства защиты информации: материалы XV Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, Беларусь, 6 июня 2017 г. – С. 32.
4. Ольшевский В. В. Статистические свойства морской реверберации. – М.: Наука, 1966. – 205 с.