

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК ЛЧМ СИГНАЛОВ

А.Р. ГАСАНОВ

Институт Физики АН Азербайджана,
Баку, 370143, пр. Г. Джавида, 33

Рассмотрена возможность использования акустооптического взаимодействия в фотоупругих средах для приема слабых ЛЧМ сигналов. Синтезирована структурно-электрическая схема соответствующего устройства. Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований.

Сигналы с внутримпульсной линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) получили широкое распространение в радиолокации, где требуется определить положение во времени и мгновенную частоту сигнала.

Для согласованной фильтрации ЛЧМ сигналов используют дисперсионные линии задержки (линии задержки с линейной зависимостью времени задержки от частоты). Существуют два способа получения заданной дисперсионной характеристики. В первом используется физическая дисперсия некоторых типов акустических волн (зависимость скорости распространения акустических волн от частоты), а во втором - неэквидистантные преобразователи поверхностных акустических волн [1].

Если на вход фильтра, согласованного с ЛЧМ сигналом, подать ЛЧМ сигнал, то на его выходе формируется короткий радиоимпульс большей амплитуды с постоянной частотой высокочастотного заполнения. При этом наилучшие результаты обеспечивает ЛЧМ импульс с большой длительностью.

Требования, предъявляемые к дисперсионным ультразвуковым линиям задержки (ДУЛЗ), не позволяют использовать достоинства ЛЧМ сигнала в полной мере. В частности, величина произведения ширины полосы пропускания ДУЛЗ на перепад задержек, соответствующих линейному участку дисперсионной характеристики, достигающих у лучших УЛЗ нескольких сотен, должна быть значительно больше базы сигнала на входе фильтра (т.е. много больше величины произведения ширины спектра сигнала на его длительность). Поэтому согласованные фильтры на основе ДУЛЗ позволяют, по видимому, обрабатывать сигналы с базой, не превышающей 100.

В контексте изложенного можно утверждать, что акустооптические линии задержки (АОЛЗ) обладают высокими потенциальными возможностями. В этих устройствах (рис.1) электрический сигнал $u(t)$ преобразуется в упругие колебания, распространяющиеся в фотоупругой среде (ФУС) к акустическому поглотителю (АП) со скоростью v , и извлекается через упругооптическую связь на некотором переменном расстоянии h от входного преобразователя. Извлечение сигнала становится возможным благодаря тому, что просвечивающий пучок света от лазера L модулируется при дифракции на неоднородностях диэлектрической проницаемости, вызываемых деформациями среды звукопровода при прохождении ультразвуковой волны. Используемую акустооптическую ячейку называют акусто-

оптическим модулятором (АОМ). Для получения электрического сигнала, дифрагировавший порядок направляют на фоточувствительную поверхность фотодетектора (Р).

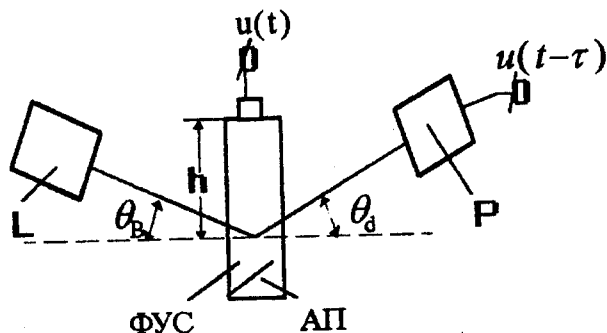


Рис.1. Структурно-электрическая схема АОЛЗ.

Время задержки выходного сигнала τ находится из соотношения

$$\tau = h/v, \quad (1)$$

и регулируется путем изменения расстояния h от ЭАП до точки акустооптического взаимодействия.

В АОМ используется режим дифракции Брегга [2], при котором используется внеосевое облучение АОМ под углом θ_B , определяемым из выражения:

$$\sin \theta_B = 0,5 \lambda / \Lambda, \quad (2)$$

где λ - длина волны света; Λ - длина упругой волны в ФУС. Дифрагировавший порядок распространяется под углом

$$\theta_d = \theta_B, \quad (3)$$

т.е. угол дифракции равен углу падения.

Из совместного анализа (2) и (3) следует, что отклонение частоты входного воздействия (следовательно, и частоты упругих колебаний) на величину Δf приводит к изменению угла дифракции на величину

$$\Delta \theta_d = 0,5 \lambda \Delta f / v, \quad (4)$$

где, из-за малости $\Delta\theta_{\alpha}$ принимаем: $\sin\Delta\theta_{\alpha} \approx \Delta\theta_{\alpha}$. При этом угол дифракции отличается от угла падения на величину $\Delta\theta_{\alpha}$.

В настоящее время акустооптические ячейки могут запоминать сигнальные последовательности длительностью до 80 мкс. Характерные значения произведения времени запоминания на полосу пропускания для таких устройств лежат в диапазоне 1000÷2000, они позволяют получать до 1000÷2000 разрешимых точек по спектру и частотное разрешение - 20÷30 кГц. Ячейки имеют высокую эффективность модуляции света, достигающую 90 %, хорошие фазовые характеристики и достаточный динамический диапазон [3].

Мгновенная частота ЛЧМ сигнала длительностью τ определяется соотношением

$$u_s(t) = \begin{cases} 0, & t < -\tau/2, \\ U_0 \cos(\omega_0 t + 0,5\mu t^2), & -\tau/2 \leq t \leq \tau/2, \\ 0, & t > \tau/2. \end{cases} \quad (7)$$

Допустим, что мешающий сигнал - $u_p(t)$ - помеха имеет аналогичную амплитуду и характеризуется частотой ω - попадающей в полосу ЛЧМ сигнала. В этих условиях отношение сигнал-шум на входе согласованного фильтра будет равно:

$$\eta_1 = u_s(t) / u_p(t) = 1. \quad (8)$$

Примем, что принимаемый ЛЧМ сигнал состоит из n элементарных ЛЧМ импульсов длительностью τ' , размещенных в интервале времени его существования, которые удовлетворяют условиям:

$$u_{sm}(t) = \begin{cases} 0, & t < -\tau/2, \\ 0, & -\tau/2 \leq -\tau/2 + (m-1)T + \tau' < t < -\tau/2 + mT \leq \tau/2, \\ U_0 \left\{ t - \left[\tau/2 - (m-1)T \right] \right\} \cos \left\{ \omega_0 + 0,5\mu \left[-\tau/2 + (m-1)T \right] t \right\} t, & -\tau/2 \leq -\tau/2 + (m-1)T \leq -\tau/2 + (m-1)T + \tau' \leq \tau/2, \\ 0, & t > \tau/2. \end{cases} \quad (9)$$

где $m=1, 2, 3, \dots, n$ - номера, $T=(\tau-\tau')/(n-1)$ - период элементарных ЛЧМ импульсов.

При этом, сумма элементарных ЛЧМ импульсов на пределе даст нам исходный (принимаемый) ЛЧМ сигнал, т.е.

$$u_s(t) = \lim_{\tau' \rightarrow T} \sum_{m=1}^n u_{sm}(t). \quad (10)$$

Ввиду того, что каждый из элементарных ЛЧМ импульсов $u_{si}(t)$ и $u_{sg}(t)$, где $i \neq g$, существует в течение строго ограниченного интервала времени, причем отдельные интервалы не перекрываются между собой, то следующее выражение

$$\int_{-0,5\tau}^{0,5\tau} u_{si}(t) u_{sg}(t) dt = 0, \quad (11)$$

справедливо при любом τ . Ясно, что для любого момента t хотя бы один из сомножителей, стоящих под знаком интеграла, будет равен нулю. Сигналы, удовлетворяющие условию (11), являются взаимно ортогональными.

В соответствии с (4) и с учетом известных допущений, можно считать, что угол дифракции светового пучка является линейной функцией частоты упругих колебаний в акустооптической ячейке. Этим эффектом можно воспользоваться для получения частотнозависимой задержки элементарных ЛЧМ импульсов.

Структурно-электрическая схема акустооптического приемника (АОП) ЛЧМ сигналов изображена на рис.2. Здесь лазерный луч просвечивает акустооптические модуляторы M_1, M_2, \dots, M_n под различными углами θ_{Bm} , определяемыми из (2) подстановкой Λ_m , где

$$\Lambda_m = 2\pi v / \{ \omega_0 + \mu [-\tau/2 + (m-1)T + \tau'/2] \}. \quad (12)$$

В этих условиях луч лазера пересекает апертуру m -го акустооптического модулятора M_m под углом

$$\theta_{Bm} = 0,25\lambda \{ \omega_0 + \mu [-\tau/2 + (m-1)T + \tau'/2] \} / (\pi v) \quad (13)$$

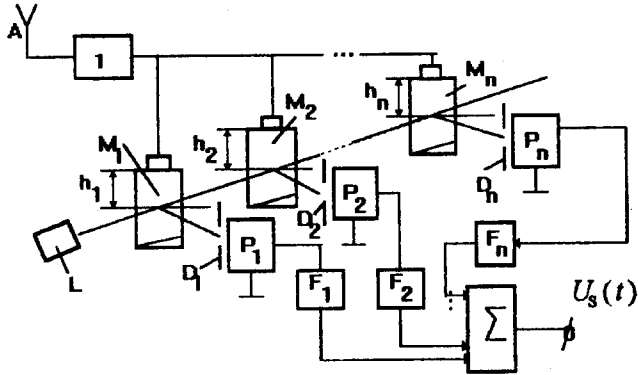


Рис.2. Структурно-электрическая схема АОП ЛЧМ сигналов.

L - лазер; 1 - широкополосный усилитель; M_1, M_2, \dots, M_n - АОМ; D_1, D_2, \dots, D_n - диафрагмы с отверстиями; P_1, P_2, \dots, P_n - фотодетекторы; F_1, F_2, \dots, F_n - полосовые фильтры; A - антенна.

Соответственно, m -й дифракционный порядок, распространяясь под углом $\theta_{dm} = \theta_{bm}$, проходит через размещенную под углом θ_{dm} к оптической оси щель m -й диафрагмы D_m и попадает на светочувствительную поверхность m -го фотоприемника P_m .

Расстояния от электроакустических преобразователей до точек акустооптического взаимодействия выбираются из следующих условий:

- для АОМ M_1 из условия вхождения элементарного ЛЧМ импульса в апертуру светозвукопровода, $h_1/v \geq \tau'/2$;

- для остальных АОМ из условия того, что задержка вносимая m -м АОМ должна быть больше на величину T задержки вносимой $(m-1)$ -м АОМ.

При выбранных параметрах, m -й видеоимпульс на выходе m -го фотоприемника P_m , обусловленный воздействием m -го элементарного ЛЧМ импульса, получает задержку равную

$$t_3 = h_1/v + (n-m)T. \quad (14)$$

Учитывая эту задержку в (9), на выходе m -го фотоприемника P_m для m -го элементарного видеоимпульса, обусловленного воздействием m -го элементарного ЛЧМ импульса на входе, имеем:

$$U_{sm}(t) = kU_0 \{ t - [h_1/v - \tau'/2 + (n-m)T] \}, \quad (15)$$

где k - коэффициент передачи АОЛЗ.

Из совместного анализа (9) и (15) следует, что все видеоимпульсы, обусловленные воздействием разнесенных в интервале времени τ существования ЛЧМ сигнала элементарных ЛЧМ импульсов, появляются на выходах сумматора одновременно, в момент времени $t - [h_1/v - \tau'/2 + (n-1)T]$.

На выходе сумматора имеем:

$$U_s(t) = \sum_{m=1}^n U_{sm}(t) = knU_0 \{ t - [h_1/v - \tau'/2 + (n-1)T] \}. \quad (16)$$

При этом, в соответствии с условием (8), амплитуда напряжения помехи на выходе сумматора равна:

$$U_p(t) = kU_0 \{ t - [h_1/v - \tau'/2 + (n-1)T] \}, \quad (17)$$

т.к. лишь один дифрагировавший порядок попадет в отверстие соответствующей диафрагмы под воздействием помехи на входе. Следовательно, отношение сигнал-шум η_2 на выходе акустооптического приемника

$$\eta_2 = U_s(t) / U_p(t) = n \quad (18)$$

в n раз больше η_1 .

Экспериментальные исследования АОП ЛЧМ сигнала проводились на макете, схема которого соответствует схеме, изображенной на рис.2. Источником света служил He-Ne лазер типа ЛГ-78. При этом в экспериментах в качестве АОМ использовались изделия МЛ-201 (3 шт.) с центральной частотой 80 МГц и фотодетектор на ЛФД-2 (3 шт.), сигнал с выхода сумматора регистрировался на осциллографе.

Напряжения сигнала с выхода ЛЧМ генератора и шума с выхода генератора шума подавались на вход АОМ через сумматор. При отношении сигнал - шум на входе - $\eta_1=1$, на выходе обеспечивалось значение $\eta_2 \approx 3$.

[1] Радиоприемные устройства. Под ред. Л.Г. Барулина, М.: Радио и связь, 1984, с. 272.

[2] С.В. Кулаков. Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов, Л.:

Наука, 1978, с. 144.

[3] Дж.Н. Ли, Э. Вандерлугт. ТИИЭР, 1989, т.77, № 10, с. 158-192.

A.R. Həsənov

XƏTTİ TEZLİK MODULYASIYALI SİQNALLAR ÜÇÜN AKUSTOOPTİK QƏBULEDİCİ

Məqələdə fotoelastik mühitlərdə akustooptik qarışıqlı tə'sirin zəif xətti tezlik moduliyalı siqnalların qəbulu üçün istifadəsi imkanları öyrənilmiş, uyğun qurğunun struktur-elektrik sxemi sintez edilmiş və eksperimental tədqiqatların bir sıra nəticələri verilmişdir.

A.P. ГАСАНОВ

A.R. Gasanov

ACOUSTIC-OPTICAL DETECTOR OF LINE FREQUENCY-MODULATED SIGNALS

The paper describes the operation of acoustic-optical device for detection of line frequency-modulated signals. Some experiment results are given.

Дата поступления: 04.11.98

Редактор: Ч.О. Каджар