

ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ С ПРЯМЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

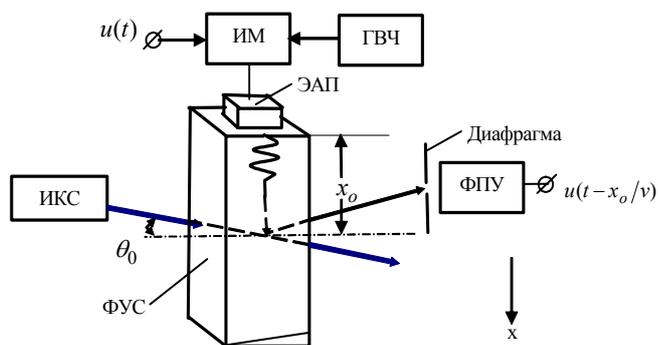
А.Р.ГАСАНОВ, Р.А.АЛЛАХВЕРДИЗАДЕ, Х.И.АБДУЛЛАЕВ

*Национальная Академия Авиации
AZ 1045, г.Баку, Бина, 25-й км, МАА
Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, г.Баку, пр. Г.Джавида, 33*

Рассмотрены искажения обрабатываемого в акустооптической линии задержки сигнала, возникающие из-за конечной апертуры оптического пучка, найдена соответствующая переходная характеристика, которая была использована для определения выходного отклика при воздействии на входе импульсного сигнала.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Акустооптические линии задержки (АОЛЗ) применяются для различных целей: для плавноуправляемой задержки сигналов, для калибровки временных интервалов с требуемыми параметрами. Они являются основой для построения устройств коррекции временных искажений сигналов [1]. Применяются АОЛЗ с прямым детектированием [2] и гетеродинного типа [3]. АОЛЗ с прямым детектированием применяются для плавноуправляемой задержки видеосигналов, а АОЛЗ гетеродинного типа – для плавноуправляемой задержки радиосигналов. На Рис.1 приведена структурно-электрическая схема АОЛЗ с прямым детектированием. Основным узлом любой АОЛЗ является акустооптический модулятор (АОМ), представляющий собой фотоупругую среду (ФУС), к одной грани которой [4] прикреплен электроакустический преобразователь (ЭАП), преобразующий входной радиочастотный сигнал в упругую волну (УВ), распространяющуюся в



ФУС со скоростью, примерно, в 10^5 раз меньшей скорости распространения электромагнитной волны. Световой пучок падает на акустооптическую ячейку под углом θ_0 .

Рис.1.

Структурно-электрическая схема АОЛЗ с прямым детектированием.

В результате взаимодействия упругой и оптической волн часть светового пучка отклоняется. Интенсивность отклоненного света I_1 определяется [5] соотношением

$$I_1 = I_0 \cdot \eta \cdot \text{sinc}^2 \sqrt{\eta + (\Delta k L_0 / 2)^2}, \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность падающего на акустооптическую ячейку света, $\eta = (\pi^2 M_2 P_a L_0) / (2 \lambda^2 H_0)$ - дифракционная эффективность, $M_2 = n^6 p^2 / (\rho g^3)$ - коэффициент добротности (коэффициент качества) материала, L_0 - длина ЭАП (глубина акустооптического взаимодействия), λ - длина волны света, H_0 - ширина

ЭАП, n и ρ -коэффициент преломления и плотность фотоупругого материала, p - фотоупругая постоянная среды, $\Delta k = K(\sin \theta_0 - \sin \theta_B) / \cos \theta_0$, K -коэффициент фазы упругой волны; θ_B - угол Брэгга.

Произведение $\Delta k \cdot L$ является величиной фазового асинхронизма. Если световой пучок падает в апертуру акустооптической ячейки под углом Брэгга, т.е. $\theta_0 = \theta_B$, то получаем $\Delta k = 0$ и соотношение (1) принимает вид

$$I_1 = I_0 \sin^2 \sqrt{\eta} . \quad (2)$$

Как правило, $\eta \ll 1$, поэтому для интенсивности отклоненного света можно написать

$$I_1 = I_0 \cdot \eta . \quad (3)$$

Из (3) очевидно название параметра η -дифракционная эффективность. В этих условиях I_1 - прямопропорциональна акустической мощности P_a .

Отклоненный порядок выделяется диафрагмой и попадает на светочувствительную поверхность фотоприемного устройства (ФПУ), выходной сигнал $u(t - \tau)$ которого является копией входного сигнала, задержанного на время $\tau = x_0 / v$. Здесь x_0 – расстояние от ЭАП до области акустооптического взаимодействия, v - скорость распространения УВ.

Осциллограммы входного $u(t)$ и выходного $u(t - \tau)$ сигналов несколько различаются, т.е. обрабатываемый сигнал искажается. Эти искажения обусловлены конечными размерами и конфигурацией взаимодействующих пучков.

Целью настоящей работы является исследование влияний размеров и конфигураций взаимодействующих акустического и оптического пучков на форму обрабатываемого сигнала и вывод соотношений пригодных для численного расчета вносимых искажений.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Как было указано, в АОЛЗ вносимые в обрабатываемый сигнал искажения обусловлены, в основном, конечными размерами и конфигурацией акустического и оптического пучков. Рассмотрим эти факторы в отдельности.

В ближней зоне поперечные размеры акустического пучка равны длине L_0 и ширине H_0 ЭАП, однако в дальнейшем угловая расходимость акустического пучка приводит к изменению его поперечных размеров.

Изменения поперечных размеров акустического пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях описываются соотношениями:

$$L = 0.5 \cdot (L_0 + \sqrt{L^2 + 8x_0 \Lambda}) , \quad (4)$$

$$H = 0.5 \cdot (H_0 + \sqrt{H^2 + 8x_0 \Lambda}) , \quad (5)$$

где Λ - длина УВ. Численный расчет показывает, что если $H_0 = 4mm$ (характерная величина), то на расстоянии $x_0 = 100mm$ ширина акустического пучка должна составить всего $H \approx 6mm$. При диаметре светового пучка, например, $d = 2mm$ в области взаимодействия передний фронт УВ можно считать плоским, а искажения, обусловленные угловой расходимостью акустического пучка, незначительными.

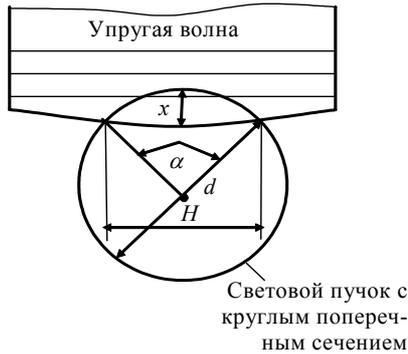
Поперечные сечения световых пучков могут иметь различные формы, например круглую или прямоугольную. Примем, что падающий световой пучок имеет

круглую форму с диаметром d и с равномерным распределением энергии в поперечном сечении (Рис.2). При воздействии гармонического колебания с огибающей в виде единичного импульса Хевисайда $\sigma(t)$ длина линии пересечения $H(x)$ переднего фронта УВ со световым пучком в плоскости xOz будет определяться уравнением

$$H(x) = 2\sqrt{dx - x^2}, \quad \text{при } x < d, \quad (6)$$

где x - расстояние, пройденное УВ с момента соприкосновения УВ с оптическим пучком. Соответственно объем взаимодействия будет определяться выражением

$$V(x) = L \cdot \int_0^x H(x) dx, \quad (7)$$



где L - глубина акустооптического взаимодействия. Введя новую переменную $x = v \cdot t$, где t - текущее время, из (7) получаем

$$V(t) = v \cdot L \cdot \int_0^t H(t) dt. \quad (8)$$

Рис.2.
Геометрия взаимодействия упругой и оптической волн.

Из (8) следует, что объем взаимодействия $V(t)$ является нелинейной функцией времени при $0 \leq t \leq d/v$. Следовательно пропорциональная $V(t)$ мощность отклоненного света также является нелинейной функцией времени при $0 \leq t \leq d/v$. При $t > d/v$ объем взаимодействия будет иметь максимальное, равное $V(t) = L \cdot 0,25 \pi d^2$, значение. Поэтому переходная характеристика $g(t)$ АОЛЗ будет записываться в виде

$$g(t) = k \cdot \frac{v \cdot \int_0^t H(t - t_0) dt}{0,25 \pi d^2} \cdot \sigma(t), \quad (9)$$

где $t_0 = x/v$ - время задержки выходного сигнала, k - постоянный множитель. Графики функций $\sigma(t)$ и $g(t)$ для $t_0 = 0,5 \text{ мкс}$ и $k = 1,2$ изображены на Рис.3.

отн.ед.

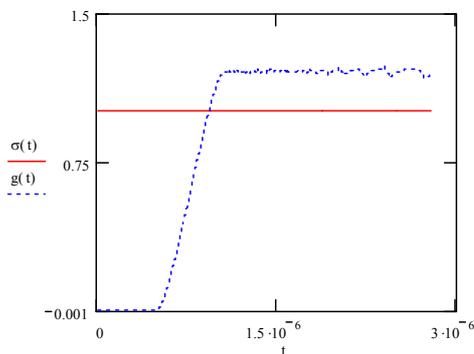


Рис.3.
Графики функций $\sigma(t)$ и $g(t)$.

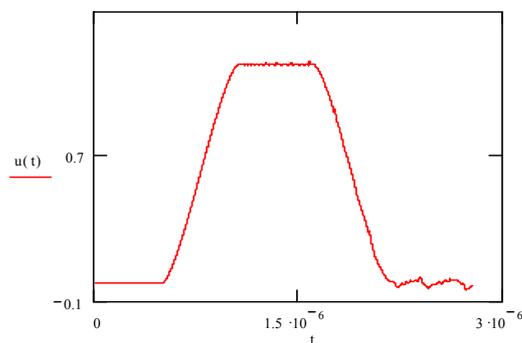


Рис.4.
Нормированный график функции $u_{\text{вых}}(t)$.

Справедливость полученной формулы может быть проверена как экспериментально, так и путем численного анализа. Метод численного анализа заключа-

ется в следующем. В соответствии с изложенными, при воздействии на вход АОЛЗ с прямым детектированием напряжения в виде единичного скачка, время нарастания выходного напряжения от нуля до максимального значения определяется, как $\tau_H = d/v$. Время нарастания выходного напряжения от 0,1 до 0,9 установившегося значения может быть определена, также, путем деления максимального значения выходного напряжения на максимальную скорость нарастания переходной характеристики, что имеет место в момент $0,5d/v$, т.е.

$$0.8\tau_H = \frac{k}{(dg/dt)_{t=0.5d/v}}.$$

Легко убедиться в идентичности результатов.

Допустим на первый вход (Рис.1) импульсного модулятора (ИМ) поступает прямоугольный видеоимпульс с длительностью τ и амплитудой U_0 . На второй вход ИМ подается высокочастотное колебание, вырабатываемое в генераторе высокой частоты (ГВЧ). При этом на электрический вход АОМ поступает радиочастотный импульс

$$u(t) = \begin{cases} U_0 \cos \omega t, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau \\ 0, & \text{при } t > \tau \end{cases}.$$

Выходное напряжение $u_{\text{вых}}(t)$, соответствующее прямоугольному видеоимпульсу с длительностью τ и амплитудой U_0 , будет определяться как разность двух напряжений, соответствующих двум единичным скачкам напряжения, т.е.

$$u_{\text{вых}}(t) = U_0 [g(t) - g(t - \tau)].$$

Нормированный график функции $u_{\text{вых}}(t)$ изображен на Рис.4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследуем характер зависимости времени нарастания τ_H выходного видеоимпульса от диаметра падающего светового пучка d , т. е. $\tau_H(d)$.

Экспериментальная установка, предназначенная для исследования указанной характеристики представлена на Рис.5. Через регулируемое отверстие диафрагмы 9 световой пучок от лазера ЛГ-78 проектировался на ФУС 5 АОМ в область распространения УВ под углом Брэгга.

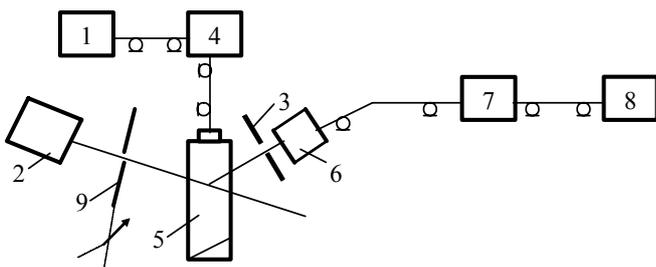


Рис.5.

Схема установки для изучения зависимость времени нарастания выходного импульса от диаметра светового пучка: 1-Генератор импульсный универсальный - Г5-53, 2-Лазер ЛГ-78; 3-Экран с щелью, 4- ГВЧ Г4-107; 5-АОМ - МЛ-201, 6-ФЭУ-29, 7-ВЧ ус. УЗ-29, 8-Осц. С1-70, 9-Диафрагма с регулируемым отверстием

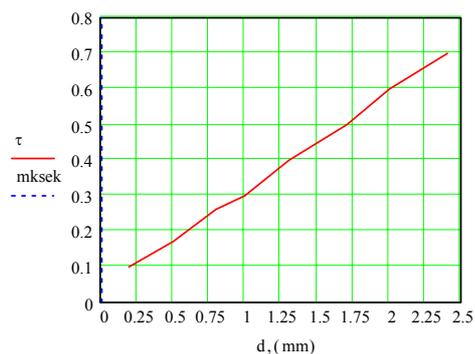


Рис.6.

График зависимости $\tau_H(d)$.

Устройство работает в режиме прямого детектирования. Изменение апертуры, падающего на ФУС АОМ оптического пучка достигалось регулировкой размеров отверстия диафрагмы 9.

График зависимости $\tau_H(d)$ изображен на Рис.6.

Следует отметить, что полученные результаты хорошо согласуются с результатами теоретических исследований, а небольшие отклонения от проведенных расчетов обусловлены конечной величиной быстродействия используемых электронных приборов.

ВЫВОДЫ

Полученная формула переходной характеристики (9) позволяет определить реакцию АОЛЗ с прямым детектированием с заданными параметрами на конкретное входное воздействие. Чем меньше диаметр падающего на светочувствительную поверхность ФПУ светового пучка, тем меньше вносимые в обрабатываемый сигнал искажения. Уменьшением диаметра отверстия в диафрагме, также, можно уменьшить вносимые в обрабатываемый сигнал искажения, однако при этом ухудшается эффективность использования энергии источника когерентного света.

1. А.М.Пашаев, А.Р.Гасанов, А.А.Мамедов, Приборы и системы управления, № 10 (1996) 26.
2. А.Р.Гасанов, Радиоэлектроника, 43 № 10 (2000) 17.
3. А.Р.Гасанов, Приборы и системы управления, № 6 (1997) 45.
4. Дж.Н.ЛИ, Э.Вандерлугт, ТИИЭР, 77 № 10 (1989) 158.
5. А.Р.Гасанов, Акустооптические системы обработки сигналов. Б., ЭЛМ, (2000) 200.

BIR BAŞA DETEKTORLAMALI AKUSTOOPTİK LƏNGİTMƏ XƏTLƏRİNDƏ SİQNALLARIN TƏHRİFLƏRİ

A. R. HƏSƏNOV, R.A.ALLAHVERDİZADƏ, X.İ. ABDULLAYEV

Akustooptik ləngitmə xətlərində siqnalın işıq selinin sonlu aperturaya malik olması nəticəsində yaranan təhrifləri öyrənilmiş, uyğun keçid xarakteristikası tapılmış və onun əsasında girişdəki impuls siqnalının təsirinə uyğun çıxış reaksiyası təyin olunmuşdur.

DISTORTIONS OF SIGNALS IN ACOUSTO-OPTIC DELAY LINES WITH DIRECT DETECTING

A.R.HASANOV, Kh.İ.ABDULLAYEV, R.A.ALLAHVERDIZADE

The distortions of a signal processed in acousto-optic delay lines arising from the final aperture of an optical beam have been considered, the appropriate transitive characteristic was found, which was used for definition of the output response at influence on an input of a pulse signal.

Редактор: С.Мехтиева