

УДК 621 374 55

**ПОЛОСА АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ****А.М. ПАШАЕВ, А.Р. ГАСАНОВ***Институт Физики АН Азербайджана,**Баку-143, пр.Г.Джавида 33**(Поступило 08.12.94)*

Акустооптические модуляторы, использующие дифракцию Брегга, позволяют повысить некоторые технические характеристики акустооптических устройств, например среднюю частоту полосы пропускания. При обработке широкополосных сигналов первостепенное значение приобретает полоса пропускания акустооптических устройств (в том числе акустооптических линий задержки (АОЛЗ)), использующих дифракцию Брегга. Ширина полосы АОЛЗ, использующей дифракцию Брегга, определяется полосой входного электроакустического преобразователя, полосой фотоприемного устройства, временем пересечения акустической волной луча света и резонансным углом Брегга. В большинстве случаев полоса современных электроакустических преобразователей и фотоприемных устройств не является фактором, ограничивающим полосу пропускания АОЛЗ. В данной статье исследуются ограничения, накладываемые на полосу АОЛЗ резонансным углом Брегга и пути их устранения.

Ширина полосы АОЛЗ, использующей дифракцию Брегга, определяется полосой входного электроакустического преобразователя (ЭАП), полосой фотоприемного устройства (ФПУ), временем пересечения акустической волной луча света и резонансным углом Брегга [1], а в АОЛЗ гетеродинного типа - еще и частотно-зависимым характером эффекта оптического гетеродинирования [2]. В большинстве случаев полоса современных ЭАП и ФПУ не является фактором, ограничивающим полосу пропускания АОЛЗ.

Рассмотрим ограничения, накладываемые на полосу АОЛЗ резонансным углом Брегга, и пути их устранения.

Если изменять частоту упругих волн, сохраняя постоянным угол падения светового пучка, то интенсивность дифрагированного света ослабевает в результате отклонения от оптимальных условий дифракции Брегга. Зависимость интенсивности дифрагированного света от  $\Delta\theta$  ( $\Delta\theta$  - отклонение угла от угла Брегга  $\theta_B$ ) [1] имеет вид,

$$I = I_{\max} \cdot \text{sinc}^2(\pi L \Delta\theta / \lambda_{\text{ст}}), \quad (1)$$

где  $\Gamma_{max} = \pi \Delta l L / \lambda_{zv}$ ;  $L$  - длина акустооптического взаимодействия;  $\lambda_{zv}$  - длина звуковой волны,  $\lambda_{cs}$  - длина световой волны.

Максимум света, дифрагированного на высокочастотной акустической волне, имеет место при выполнении условий Брегга,

$$\sin \Theta_B = 0,5 \lambda_{cs} / \lambda_{zv} . \quad (2)$$

Этот эффект играет более существенную роль в отклоняющих устройствах с высокой рабочей частотой и (или) большой длиной области взаимодействия, в связи с чем необходимы подстройки угла между оптическим лучом и фронтом звуковой волны под угол Брегга  $\Theta_B$ , которые позволили бы обеспечить выполнение оптимальных условий Брегга в нужном частотном диапазоне.

В этом контексте угол Брегга  $\Theta_B$  удобнее выразить суммой двух составляющих

$$\Theta_B = \Theta_{zv} + \Theta_{cs} = 0,5 \lambda_{cs} / \lambda_{zv} , \quad (3)$$

где  $\Theta_{zv}$  - угол между фронтом и нормалью к направлению распространения ультразвуковой волны;  $\Theta_{cs}$  - угол между падающим световым лучом и нормалью к направлению распространения ультразвуковой волны.

Допустим частота упругих волн изменяется в пределах  $f_{zv.min} \div f_{zv.max}$ . Оптимальные условия Брегга будут выполняться для каждой частоты при соответствующей подстройке  $\Theta_{zv}$  или  $\Theta_{cs}$ . Другими словами обеспечение условий Брегга возможно двумя способами: подстройкой угла падения оптического луча или регулировкой угла наклона фронта упругой волны.

#### Подстройка угла падения оптического луча

Здесь могут быть два случая: а) фокусировка оптического луча в области акустооптического взаимодействия; б) подстройка по частоте входного сигнала.

Рассмотрим случай, когда оптический луч фокусируется в области акустооптического взаимодействия (Рис.1). Можно показать, что отклонение угла от угла Брегга, при котором интенсивность дифрагированного светового пучка падает до 0,5 от максимального значения определяется соотношением

$$\Delta \Theta_{B,max} = 0,442 \cdot \lambda_{zv} / L , \quad (4)$$

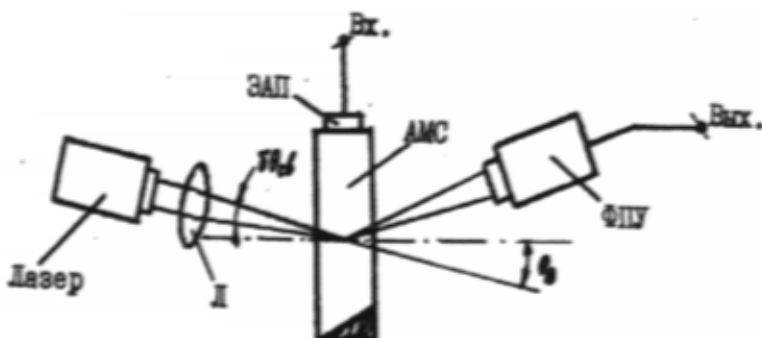


Рис. 1. Схема широкополосной АОЛЗ с фокусированием оптического луча в область акустооптического взаимодействия

Это происходит [3] при изменениях частоты упругих колебаний на величину

$$\Delta f_{\text{зв.мах}} = 2V_{\text{зв}} \cdot \Delta\theta_{\text{Б.мах}} / \lambda_{\text{св}} \quad (5)$$

Падающий световой луч может быть представлен набором оптимальных плоских волн. При фокусировании светового луча условие Брэгга будет выполняться не для всех оптических плоских волн. При изменении частоты ультразвуковых колебаний условие Брэгга будет выполняться для другого набора оптических плоских волн. В этих условиях соотношение (1) примет следующий вид

$$I = \begin{cases} I_{\text{мах}} & , \text{ при } \Delta\theta_{\text{мах}} - \delta\theta_{\text{св}}/2 < \Delta\theta < \delta\theta_{\text{св}}/2 - \Delta\theta_{\text{мах}} \\ I_{\text{мах}} \cdot \text{sinc}^2(\pi L \Delta\theta_{\text{Б}} / \lambda_{\text{зв}}) & , \text{ при } \Delta\theta = \pm \delta\theta_{\text{св}}/2 \end{cases} \quad (6)$$

где  $\delta\theta_{\text{св}}$  - угол сходимости оптического луча.

Из (6) следует, что интенсивность дифрагированного света падает до 0,5 от максимального значения при изменениях частоты упругих колебаний на величину

$$\Delta f'_{\text{зв.мах}} = 2V_{\text{зв}} \cdot (\delta\theta_{\text{св}}/2 + \Delta\theta_{\text{мах}}) / \lambda_{\text{св}} \quad (7)$$

Очевидно, что полоса пропускания системы, при фокусировании светового луча в области взаимодействия, увеличивается в  $(\delta\theta_{\text{св}}/2 + \Delta\theta_{\text{мах}}) / \Delta\theta_{\text{мах}}$  раз по сравнению с полосой пропускания

системы, в которой используется коллимированный световой пучок. Однако, при этом ухудшается эффективность использования интенсивности падающего светового пучка. Поэтому необходимо использовать источник когерентного света (ИКС) большей интенсивности оптического излучения, что является недостатком этого метода.

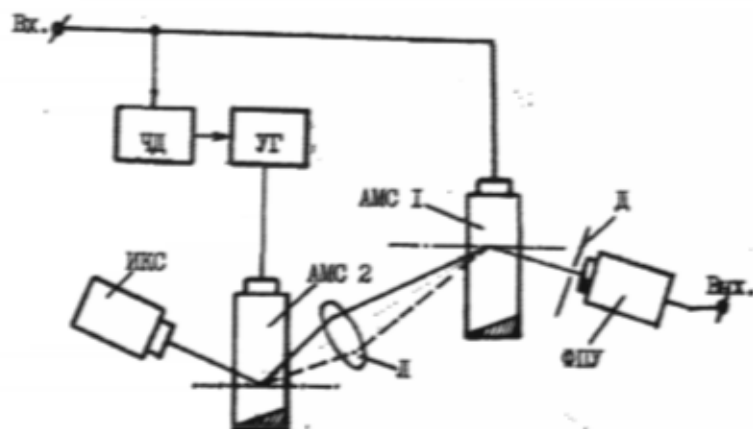


Рис. 2. Схема широкополосной АОЛЗ с адаптивной связью по частоте между углом падения оптического луча и частотой входного сигнала.

С целью устранения названного недостатка можно использовать систему, в которой подстройка угла падения оптического луча обеспечивается введением адаптивной по частоте связи между углом падения оптического луча и частотой входного сигнала (Рис.2). В этой АОЛЗ [4,6] подстройка оптического луча осуществляется при помощи вспомогательного акустического модулятора света (АМС) 2. Затем, отклоненный в первый порядок свет, при помощи линзы Л, направляют в нужную точку акустооптического взаимодействия АМС 1. Свет, дифрагировавший на упругой волне в АМС 1 попадает на фоточувствительную поверхность ФПУ через отверстие диафрагмы Д.

Выходное напряжение частотного детектора (ЧД), амплитуда которого повторяет закон изменения частоты входного сигнала, подается на управитель частоты управляемого генератора (УГ). В результате частота УГ и угол дифракции света в фокальной плоскости АМС 2 изменяются в унисон изменению частоты входного сигнала. Собирающая линза Л обеспечивает фокусировку продифрагировавшего света в области акустооптического взаимодействия. При этом меняется лишь угол падения светового пучка. Итак, становится возможным обеспечение условий Брегга в широкой полосе частот.

## Управление акустическим пучком

Для выполнения условий Брегга в нужном частотном диапазоне необходимо управлять акустическим пучком при низкой интенсивности ИКС или же при необходимости работать с коллимированным световым пучком. С этой целью акустический пучок направляют под углом Брегга с помощью фазированной решетки ЭАП [5]. Простейшая фазированная решетка, показанная на рис. 3 а, представляет собой плоскую решетку с фиксированным сдвигом фаз  $\varphi$  между соседними ЭАП. Результирующий акустический волновой фронт можно получить, как показано на рис. 3 а, соединяя соседние индивидуальные волновые фронты в соответствии с первым дифракционным порядком акустической решетки. Индивидуальные волновые фронты соседних ЭАП, при этом сдвинуты на величину  $\varphi/k_{z_{\text{зв}}}$ , где  $k_{z_{\text{зв}}} = 2\pi/\lambda_{z_{\text{зв}}}$  - коэффициент фазы упругих волн. Поэтому результирующий акустический волновой фронт первого порядка наклонен по отношению к реальному акустическому волновому фронту на угол  $\alpha = \varphi/(k_{z_{\text{зв}}} \cdot s) = \varphi V_{z_{\text{зв}}}/(2\pi f_{z_{\text{зв}}} \cdot s)$ , обратно пропорциональный частоте. Поскольку зависимость угла Брегга от частоты описывается функцией арксинуса, акустический пучок не удовлетворяет точному условию Брегга. Условие Брегга выполняется на обоих концах полосы частот, если шаг решетки равен

$$s = n \cdot V_{z_{\text{зв}}}^2 / \left[ (f_0^2 - \Delta f^2 / 4) \cdot \lambda_{z_{\text{зв},0}} \right] \quad (8)$$

где  $n$  - показатель преломления среды.

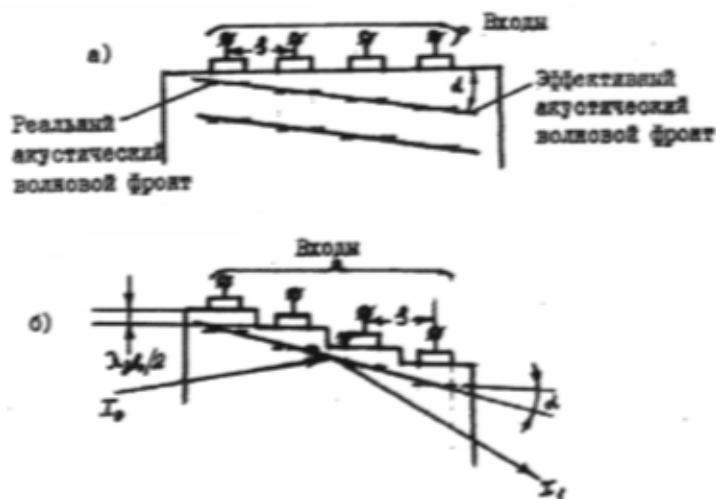


Рис. 3. Акустические фазированные решетки лестничного типа: а) плоская и б) лестничного типа.

Наибольшее отклонение от условия Брегга наблюдается в середине полосы частот отклоняющего устройства, что приводит к ухудшению характеристики прибора. Выигрыш в эффективности по сравнению со случаем одиночного преобразователя почти четырехкратный. Однако, плоская акустическая решетка создает акустические волновые фронты многих порядков, что уменьшает акустическую мощность в требуемом порядке. Из-за этого эффективность снижается на 3 дБ. В целом плоская решетка позволяет вдвое повысить эффективность по сравнению с одиночным преобразователем. Кроме того, поскольку на высоких частотах сопротивление преобразователя обычно не превышает нескольких Ом, применение решетки преобразователей позволяет увеличить общее сопротивление, приблизив его к сопротивлению 50 Ом.

Концентрация акустической мощности в нужном порядке волнового фронта достигается применением более совершенной фазовой решетки лестничного типа (Рис.3 б).

Каждый ЭАП крепится на соответствующей ступеньке решетки (шаг решетки  $s$ ). Сигналы, возбуждающие соседние элементы, находятся в противофазе. Высота ступенек выбрана равной половине длины акустической волны  $\lambda_{zv,0}$  на центральной частоте  $f_{zv,0}$ , в результате чего при изменении частоты в среде происходит поворот эффективного акустического волнового фронта.

Оптимальное значение  $s$ , необходимое для сохранения условия Брегга, в первом приближении определяется простой формулой:

$$s = n \cdot \lambda_{zv,0}^2 / \lambda_{св} \quad (9)$$

Значительное расширение полосы дифракции достигается уже при использовании структуры, имеющей всего лишь четыре ступеньки. Однако, трудно создать решетку лестничного типа для работы на высоких частотах.

### Литература

1. Бринза, Де Мариа. Зарубежная радиоэлектроника, 1969, № 2, с. 94-108.
2. Виноградов С.С., Яковлев В.Н. - ТУИС, Сер. Автоматическая коммутация и телефония, 1978, с. 126-131.
3. Гасанов А.Р. Темат. сб. научных трудов, АзПИ. 1989 г.
4. Рзаев Х.Н., Гасанов А.Р. Исследование полосы пропускания акустооптической линии задержки с прямым детектированием- Б.: Азерб. ГНА. Ученые записки № 3, с. 154-159, 1994.
5. Корпел, Адлер, Десмарес, Ватсон. ТИИЭР, 1966.т. 54, № 10, с. 225-235.
6. Зилберман Г.Е., Голтянская Г.Ф., Голтянский И.Н. Акустооптический резонанс на двух частотах. Радиотехника, 1991, т. 36, 7.

A.M. Paşayev, A.R. Həsənov

## AKUSTOOPTİK LƏNGİTMƏ XƏTTİNİN ZOLAĞI

Akustooptiki modulyatorlarda Breqq difraksiyasından istifadə olunması akusto-optiki qurğuların bir sıra texniki xarakteristikalarını, məsələn, buraxma zolağının orta tezliyini, yüksəltməyə imkan verir. Geniş zolaqlı siqnallar işlənər-kən Breqq difraksiyasından istifadə edən akustooptiki qurğuların (o cümlədən akustooptiki ləngitmə xətlərinin) buraxma zolağı böyük əhəmiyyət kəsb edir. Breqq difraksiyasından istifadə edən akustooptiki ləngitmə xətlərinin tezlik zolağının eni elektroakustik çeviricinin və fotoqəbuledicinin tezlik zolaqları akustik dalğanın işıq şüasını kəsmə vaxtı və rezonans Breqq bucağı ilə məhdudlanır. Müasir elektroakustik çeviricilərin, fotoqəbuledici qurğuların tezlik zolaqları genişdir və akustooptik ləngitmə xətlərinin tezlik zolaqlarını məhdudlaşdırmırlar. Bu məqalədə rezonans Breqq bucağının akustooptik ləngitmə xəttinin tezlik zolağına qoydu-ğu məhdudiyətlər və onların aradan qaldırılması üsulları tədqiq olunur.

A.M. Pashaev, A.R. Gasanov

## BAND OF ACOUSTOOPTIC DELAY LINES

Acoustooptic modulators using Bragg diffraction allows to increase some specifications of acoustooptic devices, for instance medium frequency of bandpass. During treatment of broad band signals it is of first importance the bandpass of acoustooptic devices (including acoustooptic delay lines) using Bragg diffraction. Bandwidth of acoustooptic delay lines using Bragg diffraction is defined by band of entry elektroacoustic converter, band of photodetector, time of crossing of acoustooptic wave by light beam and resonant Bragg angle. In most cases the band of present -day electroacoustic converters and photodetectors are not the factor limiting bandpass of acoustooptic delay lines.

Present paper deals with the restrictions imposing on the band of acoustooptic delay lines by resonant Bragg angles and ways of their avoidance.